

AUDITIVE UNTERSCHIEDUNG VON ZEITLICHEN LAUTHEITSPROFILEN

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde
der Philosophischen Fakultät II
(Psychologie, Pädagogik und Sportwissenschaft)
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Tina Plank
aus Hirschau
2005

Regensburg
2005

Erstgutachter: Prof. Dr. Wolfgang Ellermeier

Zweitgutachter: Prof. Dr. Mark W. Greenlee

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	vi
Zusammenfassung	viii
1 Theoretischer Hintergrund	1
1.1 Wahrnehmung der zeitlichen Struktur von auditiven Reizen	2
1.1.1 Zeitliches Auflösungsvermögen des auditiven Systems	2
1.1.2 Langzeitintegration	5
1.2 Nutzung der sensorischen Information	6
1.2.1 Erklärungsmodelle	6
1.2.2 Gewichtung von aufgenommener Information	8
1.3 Neurophysiologische Befunde	14
1.3.1 Modelle der frühen auditorischen Reizverarbeitung	14
1.3.2 Hinweise auf ein zeitliches Integrationsfenster von 150-200 ms	19
1.4 Untersuchung von Lautheitsprofilen - Überblick	24
1.4.1 Experiment 1 - Zeitliche Lautheitsintegration diskreter Schallereignisse	24
1.4.2 Experiment 2 - Entdeckung einer Intensitätsspitze in zeitlichen Lautheitsprofilen	25
1.4.3 Experiment 3 - Unterscheidung von zeitlichen Lautheitsmustern nach ihrer Form	26
1.4.4 Experiment 4 - Der Einfluss der zeitlichen Position der Intensitätsspitze auf die Unterscheidbarkeit von Lautheitsprofilen .	27
1.4.5 Experiment 5 - Der Einfluss der Segmentanzahl auf die Unterscheidbarkeit von Lautheitsprofilen	27

2	Experiment 1	29
2.1	Zeitliche Lautheitsintegration diskreter Schallereignisse	29
2.1.1	Integration von Lautheit über die Zeit	29
2.1.2	Fragestellung für Experiment 1	33
2.2	Methode	36
2.2.1	Versuchspersonen	36
2.2.2	Versuchsanordnung	36
2.2.3	Versuchsablauf	40
2.3	Ergebnisse	42
2.3.1	Antwortgüte	42
2.3.2	Gewichtsschätzung	46
2.4	Diskussion	74
3	Experiment 2	78
3.1	Entdeckung einer Intensitätsspitze in zeitlichen Lautheitsprofilen . . .	78
3.2	Methode	83
3.2.1	Versuchspersonen	83
3.2.2	Versuchsanordnung	83
3.2.3	Versuchsablauf	85
3.3	Ergebnisse	88
3.3.1	Antwortgüte	88
3.3.2	Gewichtsschätzung	90
3.4	Diskussion	110
4	Experiment 3	115
4.1	Unterscheidung von zeitlichen Lautheitsmustern nach ihrer Form . . .	115
4.2	Methode	118
4.2.1	Versuchspersonen	118
4.2.2	Versuchsanordnung	118
4.2.3	Versuchsablauf	121
4.3	Ergebnisse	124
4.3.1	Antwortgüte	124
4.3.2	Gewichtsschätzung	126
4.4	Diskussion	141

5	Experiment 4	145
5.1	Der Einfluss der zeitlichen Position des Inkrements auf die Unterscheidbarkeit von Lautheitsprofilen	145
5.2	Methode	149
5.2.1	Versuchspersonen	149
5.2.2	Versuchsanordnung	149
5.2.3	Versuchsablauf	150
5.3	Ergebnisse	153
5.3.1	Antwortgüte	153
5.3.2	Sensitivitätsmaß d'	156
5.3.3	Gewichtsschätzung mittels logistischer Regression	159
5.4	Diskussion	162
6	Experiment 5	165
6.1	Der Einfluss der Segmentanzahl auf die Unterscheidbarkeit von Lautheitsprofilen	165
6.1.1	Der Einfluss der relativen Dauer von Reizkomponenten auf die Unterscheidung von Tonsequenzen	166
6.1.2	Der Einfluss der Komponentenanzahl auf die Unterscheidung von spektralen Profilen	167
6.1.3	Fragestellung in Experiment 5	168
6.2	Methode	169
6.2.1	Versuchspersonen	169
6.2.2	Versuchsanordnung	169
6.2.3	Versuchsablauf	171
6.3	Ergebnisse	174
6.3.1	Unterschiedsschwellen für das Inkrement in Lautheitsprofilen mit variierender Segmentanzahl	174
6.3.2	Gewichtsschätzung mittels logistischer Regression	176
6.4	Diskussion	178
7	Allgemeine Diskussion	180
7.1	Diskussion der Einzelergebnisse	181
7.2	Diskussion des Gesamtergebnisses	186

7.3	Beobachtereffizienz und Gewichtungsstrategien	188
7.3.1	Suboptimale Gewichtung und “internal noise“	189
7.3.2	Beobachterineffizienz durch wechselnde Gewichte	193
7.4	Gedächtniseffekte	194
7.5	Aspekte möglicher weiterführender Untersuchungen	197
7.5.1	Offene Fragen für psychophysische Untersuchungen	197
7.5.2	Untersuchungen mittels ereigniskorrelierter Potentiale - Hin- weise auf die Verarbeitung früher Reizelemente?	199
7.6	Schlussfolgerungen	202
Literatur		204
Anhang		218
Anhang A1 - Feedback-Problematik		218
Anhang A2 - Instruktionen		221
Anhang B1 - COSS-Analyse Experiment 1		226
Anhang B2 - COSS-Analyse Experiment 2		236
Anhang B3 - COSS-Analyse Experiment 3		243
Anhang C1 - Logistische Regression Experiment 1		245
Anhang C2 - Logistische Regression Experiment 2		253
Anhang C3 - Logistische Regression Experiment 3		260
Anhang D - Antwortgüte Experiment 4		262

Danksagung

Diese Arbeit entstand im Rahmen des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projektes “Informationsintegration bei der Lautheitswahrnehmung komplexer Schalle: Sensorische und kognitive Mechanismen“ unter Leitung von Prof. Dr. Wolfgang Ellermeier und Prof. Dr. Till Pfeiffer (Experimente 1, 2, 4 und 5), sowie im Rahmen eines Forschungsaufenthalts an der Universität Aalborg, Dänemark, in der Forschungsgruppe von Prof. Dr. Wolfgang Ellermeier (Experiment 3).

An dieser Stelle möchte ich allen ganz herzlich Danke sagen, die mich beim Anfertigen dieser Arbeit unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr. Wolfgang Ellermeier, der mir ermöglicht hat, auf dem Gebiet der Psychoakustik zu arbeiten und diese Dissertation in allen Phasen ihres Entstehens mit großem Engagement betreut hat. Prof. Ellermeier hatte zu jeder Zeit ein offenes Ohr für alle meine Fragen und hat die Arbeit unermüdlich und mit großem persönlichem Einsatz unterstützt und begleitet. Der Wert seiner unschätzbaren Hilfe, Ermutigung und Unterstützung in allen Bereichen des wissenschaftlichen Arbeitens ist mit Worten nur schwer auszudrücken. Deshalb kann ich hier nur nochmals herzlichst Danke sagen. Bedanken möchte ich mich bei ihm auch dafür, mir einen sehr interessanten Forschungsaufenthalt an der Universität in Aalborg, Dänemark, ermöglicht zu haben.

Herrn Prof. Dr. Mark W. Greenlee möchte ich ganz herzlich danken für seine Bereitschaft, die Arbeit zu begutachten, und für seine Unterstützung in der letzten Phase der Promotion.

Herrn Prof. Dr. Till Pfeiffer, jetzt an der Pädagogischen Hochschule Karlsruhe, danke ich für seine große Unterstützung in allen organisatorischen Fragen, die das DFG-Projekt betrafen, in dessen Rahmen diese Arbeit entstand.

Danken möchte ich auch Herrn Prof. Dr. Klaus W. Lange für die Überlassung der Laborräume an der Universität Regensburg für die Dauer des Projekts und die Fertigstellung der Arbeit.

Die ursprüngliche Versuchssteuerungssoftware, welche die Grundlage für versuchsspezifische Modifikationen in den Experimenten 1, 2, 4 und 5 bildete, wurde von Herrn Günther Faulhammer erstellt. Prof. Dr. Bruce G. Berg, University of California at Irvine, stellte mir dankenswerterweise sein Programm zur COSS-Analyse zur Verfügung, das ich für die verschiedenen Fragestellungen adaptierte. Besonders herzlicher Dank geht an Benjamin Pedersen, Aalborg University, der mir seine Steuer- und Auswertungsprogramme für Experiment 3 zur Verfügung gestellt und modifiziert hat. Außerdem möchte ich Harald Binder und Florian Wickelmaier herzlich für ihre wertvollen Ratschläge und Hinweise in statistischen Fragen danken.

Allen meinen Kollegen am Institut für Psychologie der Universität Regensburg, insbesondere am ehemaligen Lehrstuhl von Prof. Dr. Jan Drösler, und am Department for Acoustics der Universität Aalborg, Dänemark, danke ich ganz herzlich für die schöne Zeit zusammen, für viele interessante Diskussionen und viele wertvolle Anregungen, Tipps und Ratschläge in wissenschaftlichen wie auch technischen Fragen. Mein besonderer Dank gilt auch Herrn Prof. Dr. Jan Drösler, bei dem ich mehrere Jahre studentische Hilfskraft sein durfte.

Außerdem danke ich ganz herzlich allen meinen Versuchspersonen für ihre ausdauernde, engagierte und interessierte Mitarbeit bei den hier vorgestellten Experimenten.

Meinen Eltern möchte ich herzlichst danken für ihre immerwährende Unterstützung und Ermutigung.

Regensburg, Mai 2005

Tina Plank

Zusammenfassung

Die vorliegende Untersuchung beschäftigt sich mit der Analyse von Verarbeitungs- und Entscheidungsprozessen bei der Unterscheidung von zeitlichen Lautheitsprofilen. Dabei interessieren Aspekte der *Wahrnehmung* schneller Lautheitsänderungen (zeitliches Auflösungsvermögen des Gehörs), sowie der *effizienten Nutzung* der aufgenommenen Information für verschiedene Aufgaben der Mustererkennung. Eine spezielle Methode (COSS-Analyse; Berg, 1989) erlaubt es, aus globalen Versuchspersonenurteilen relative Gewichte zu schätzen, die wiedergeben können, wie stark jedes einzelne Zeitsegment eines Reizes die Entscheidung einer Versuchsperson beeinflusst. In fünf Experimenten werden verschiedene Varianten der Mustererkennung implementiert, die von Hörern verlangen, Pegelinformation entweder über eine gewisse Zeitspanne zu integrieren oder mit feiner zeitlicher Auflösung zu analysieren. Auf diese Weise wird untersucht, wie effizient Versuchspersonen auch sehr kurze Zeitsegmente hinsichtlich ihrer Lautheit analysieren können und wie flexibel sie ihre Gewichtungsstrategien neuen Aufgabenstellungen anpassen können.

In Experiment 1 - einer Lautheitsintegrationsaufgabe - wird untersucht, wie Gewichtungsfunktionen mit der Integrationszeit zusammenhängen. Hierzu werden Folgen von Breitbandrauschen generiert, deren Gesamtdauer variiert, während die akustische Energie konstant bleibt: jeweils zehn Rauschimpulse von 20 ms Dauer sind durch Pausen von 5, 40 oder 100 ms getrennt. Versuchspersonen sollen aus je zwei dargebotenen Pulsfolgen die insgesamt "lautere" auswählen. Mittels der COSS-Methode (Berg, 1989) und der logistischen Regression aus den Versuchspersonenurteilen abgeleitete Gewichtungsfunktionen zeigen insgesamt eine starke Betonung des Reizanfangs, sowie einen Effekt der Gesamtdauer: Die kürzesten Reizfolgen (Pausen von 5 ms) weisen eine flachere Gewichtungskurve auf als die längeren Folgen (Pausen von 40 oder

100 ms). Dieses Ergebnis legt nahe, dass der zu beobachtende Primacy-Effekt von der Integrationszeit und nicht von der Anzahl der zu integrierenden Schallereignisse abhängt.

In den Experimenten 2 bis 5 muss die Pegelinformation aus den dargebotenen Zeitsegmenten nicht integriert werden, sondern mit feiner zeitlicher Auflösung analysiert werden, um Unterschiede in Lautheitsprofilen zu erkennen.

In Experiment 2 werden in einem 2IFC-Verfahren jeweils zwei Exemplare zufällig im Pegel fluktuierenden weißen Rauschens dargeboten, eines davon mit einer Intensitätsspitze von 4 dB. Aufgabe der Versuchspersonen ist zu entscheiden, welches der beiden Beobachtungsintervalle die Intensitätsspitze enthält. Die Daten zeigen, dass das Gehör die zeitlichen "Profile" in den verrauschten Signalen erkennen kann. Eingehendere Analysen des Urteilsverhaltens nach der COSS-Methode (Berg, 1989) belegen, dass sowohl bei längerer (1 s) als auch bei kürzerer Reizdauer (200 ms) Kontraste zwischen dem Reizsegment mit der Intensitätsspitze und benachbarten Segmenten gebildet werden. Das auditive System ist also imstande, auch in einem Zeitbereich von weniger als 200 ms Reizkomponenten selektiv bezüglich der Lautheit zu analysieren.

In Experiment 3 wird untersucht, ob das Gehör auch in der Lage ist, sehr kurze Intervalle (100 ms und 200 ms) allein nach der Form ihres Lautheitsmusters zu unterscheiden. In einem 1IFC-Experiment werden Exemplare zufällig im Pegel fluktuierenden weißen Rauschens dargeboten, die entweder zu Beginn oder am Ende mit einer Intensitätsspitze versehen sind und somit den Eindruck von ab- bzw. aufsteigenden Lautheits-"Rampen" vermitteln. Versuchspersonen sollen diese beiden Muster unterscheiden. Die Ergebnisse zeigen, dass das Gehör bei beiden Reizdauern die Position der Lautheits-"Rampen" identifizieren kann. Mittels der COSS-Analyse (Berg, 1989) und der logistischen Regression werden Gewichte geschätzt als Maß für den Einfluss, den einzelne Reizkomponenten auf die Entscheidung der Versuchsperson haben. Tatsächlich spiegeln die erhaltenen Gewichtsfunktionen die Pegelverläufe wider: die Reizkomponente mit der Intensitätsspitze wird stark positiv, die übrigen Komponenten schwächer positiv oder negativ gewichtet.

Experiment 4 beschäftigt sich mit der Frage, welchen Effekt die Position eines Inkrements im Lautheitsprofil auf die Unterscheidungsleistung von Versuchspersonen hat. Hierzu wird der Versuchsaufbau von Experiment 2 repliziert, mit dem Unterschied, dass nun die Position des Inkrements zwischen allen zehn Zeitsegmenten systematisch variiert wird. Es zeigt sich, dass die Unterscheidungsleistung der Versuchspersonen bei Inkrementen am Anfang des Reizes (Segmente 1 und insbesondere 2) schlechter ist und am Ende des Reizes (insbesondere Segment 10) am besten ist.

Experiment 5 beschäftigt sich schließlich mit der Frage, welche Rolle die Segmentanzahl bei der Unterscheidung von Lautheitsprofilen spielt. Können Versuchspersonen vom Vergleich der Inkrementkomponente mit zusätzlichen Reizkomponenten profitieren oder behindern sie eher die Unterscheidungsfähigkeit? In einem Paradigma mit den Randbedingungen von Experiment 2 wird hier nun die Segmentanzahl in fünf Bedingungen (3, 5, 7, 9 und 11) variiert. Das Inkrement befindet sich im jeweils mittleren Segment. Mittels eines adaptiven Verfahrens wird die 70.1 %-Unterschiedsschwelle ermittelt. Die Schwellen aus den fünf Bedingungen werden verglichen. Die Daten der Versuchspersonen weisen auf einen "Trade-off"-Effekt zwischen dem Profitieren von zusätzlicher Information und Ablenkung durch zusätzliche irrelevante Reizkomponenten hin, der zudem abhängig von der Segmentdauer ist. Bei kurzen Reizsegmenten von 20 ms profitieren Versuchspersonen zunächst von hinzugefügten Segmenten, bis die Diskriminationsleistung ab einer Gesamtreizdauer von etwa 140 ms wieder abnimmt.

Die Ergebnisse zeigen, dass Versuchspersonen in der Lage sind, Unterschiede in Lautheitsprofilen von weniger als einer Sekunde Dauer wahrzunehmen und die vorhandene Pegelinformation auch je nach Aufgabenstellung selektiv, effizient und flexibel zu nutzen. Die Ergebnisse sind damit konsistent mit der Vorstellung, dass das Gehör je nach Aufgabenstellung entweder über einen längeren Zeitbereich integriert (Lautheitsintegration) oder mit feiner zeitlicher Auflösung diskriminiert (zeitliche Profilanalyse). Schwächen des Verarbeitungsprozesses zeigen sich dann, wenn Intensitätsspitzen sehr früh im Reiz erkannt werden müssen bzw. irrelevante Information ignoriert werden muss.

Kapitel 1

Theoretischer Hintergrund

Die (menschliche) Wahrnehmung ist ständig mit einer Vielzahl von Informationen aus der Umwelt konfrontiert, die es gilt, auf möglichst effiziente Weise zu verarbeiten. Dabei ist die Fähigkeit, Änderungen in den Umweltreizen möglichst schnell zu entdecken und zu analysieren, eine der wichtigsten und grundlegendsten Funktionen, da sie eine schnelle Reaktion erforderlich machen können - wie z.B. Flucht vor Gefahr.

Für das auditive System gehört dazu unter anderem die Analyse feiner Änderungen in der zeitlichen Struktur der Lautheit von Schallen. Lautheitsänderungen können Hinweise darauf liefern, ob sich eine Schallquelle vom Hörer weg oder auf ihn zu bewegt, deren zeitliche Struktur auf die Geschwindigkeit der Bewegung. Ist eine Schallquelle bekannt, so weisen Unterschiede in ihrer Lautheit darauf hin, wie weit entfernt sie ist (Green, 1988). In der sprachlichen Kommunikation - und auch in der Musik - kann die Modulation der Intensität eingesetzt werden, um Sachverhalte zu betonen. Die zeitliche Struktur ist ein wesentlicher Informationsträger der Sprache. Zur Unterscheidung und Identifikation bestimmter Sprachsilben oder -laute dienen die Reihenfolge des Auftretens von spektralen Komponenten bzw. die zeitliche Analyse der Dauer der *voice-onset time* im Millisekundenbereich, durch die stimmhafte von stimmlosen Konsonanten (z.B. "b" und "p" oder "d" und "t") unterschieden werden können (z.B. Hirsh, 1959; von Steinbüchel et al., 1999).

Im Vordergrund dieser Dissertation steht die Analyse von zeitlichen Lautheitsprofilen im Bereich von einigen Millisekunden bis Sekunden. Es interessiert die Frage, welche

Mechanismen der Verarbeitung schneller Lautheitsänderungen zugrunde liegen. Dies berührt zwei Aspekte: 1) welche Veränderungen in der zeitlichen Struktur ist das auditive System in der Lage *wahrzunehmen*? Dies ist also die Frage nach der *zeitlichen Auflösungsfähigkeit* des Gehörs. Und 2) wie und wie effizient wird die wahrgenommene Information *genutzt*? Inwieweit ist das auditive System in der Lage, Nutzungsstrategien je nach Aufgabenstellung anzupassen?

Die folgenden Abschnitte stellen zunächst Ergebnisse früherer Studien und Erklärungsmodelle für die gefundenen Phänomene dar. Daran schließt sich die Fragestellung der vorliegenden Arbeit an.

1.1 Wahrnehmung der zeitlichen Struktur von auditiven Reizen

1.1.1 Zeitliches Auflösungsvermögen des auditiven Systems

Gilt es, Schalle mit feiner zeitlicher Auflösung zu analysieren, ergeben sich verschiedene Befunde.

Für die binaurale Auflösung ist bekannt, dass selbst Laufzeitdifferenzen von nur 10 bis 20 Mikrosekunden zwischen beiden Ohren für die genaue Lokalisierung einer Schallquelle genutzt werden können (Hellbrück & Ellermeier, 2004).

Krumbholz et al. (2003) zeigten, dass auch die monaurale Auflösungsfähigkeit bis in einen Bereich von 10-20 Mikrosekunden gehen kann. Als Reize wurde sog. "Kammfilterrauschen" ("iterated rippled noise", IRN) verwendet. Es wird erzeugt, indem identische Exemplare von zufälligem Rauschen miteinander verschmolzen werden, wobei jedes jeweils um einige Millisekunden verschoben wird. Dadurch entsteht ein Rauschen mit wahrnehmbarer zeitlicher Regelmäßigkeit und unter bestimmten Bedingungen tonhaltigem Höreindruck. Aufgabe der Versuchspersonen war, einen Signal-IRN in einem Masker-IRN zu entdecken, der jeweils mit Verzögerung einsetzte. Diese Verzögerung wurde variiert, und es wurden Unterschiedsschwellen für die Intensität gemessen, um die der Signal-IRN über der des Masker-IRN liegen musste, um entdeckt zu werden. Bereits eine Verzögerung von 12,5 Mikrosekunden zwischen Signal- und

Masker-IRN bewirkte ein Sinken der Schwelle um 7 dB. Daraus folgerten die Autoren, dass bereits das monaurale System in der Lage ist, Zeitintervallinformationen mit einer Auflösung von 10-20 Mikrosekunden zu verarbeiten.

Bei dieser Art von Experimenten kann jedoch noch nicht von einer bewussten Wahrnehmung einer Zeitverzögerung ausgegangen werden. Die zeitliche Auflösungsfähigkeit wirkt sich nur *indirekt* auf eine Wahrnehmungsschwelle aus, indem sie eine Unterscheidungsaufgabe erleichtert. Um Unterschiede in der zeitlichen Struktur auditiver Reize bewusst wahrnehmen zu können, müssen die Zeitdauern deutlich ansteigen.

Gilt es z.B. festzustellen, ob alle Töne eines mehrkomponentigen komplexen Schalles zur gleichen Zeit einsetzen oder eine oder mehrere Komponenten früher oder später einsetzen, so bedarf es einer Verzögerung im Millisekundenbereich. Es zeigte sich, dass Asynchronien am Anfang eines Reizes leichter zu entdecken waren als am Ende eines Reizes. Sie mussten am Anfang eines Reizes zwischen 0,1 ms und 1 ms betragen (Zera & Green, 1993a, 1993b; siehe Eddins & Green, 1995).

Experimente zur Amplitudenmodulation untersuchen, ab welcher Modulationsfrequenz ein amplitudenmodulierter Reiz von einem unmodulierten Reiz unterschieden werden kann. Es zeigt sich hier, dass die Schwelle zur Entdeckung von Amplitudenmodulation ab einer Modulationsfrequenz von etwa 50 Hz deutlich und kontinuierlich steigt (z.B. Viemeister, 1979). Das entspricht in etwa einer Zeitkonstante von 3 ms (Eddins & Green, 1995).

Ähnliche Auflösungszeiten liefern Experimente, bei denen eine Lücke zwischen zwei Reizen entdeckt werden muss ("gap detection"). Damit Lücken in Breitbandrauschen entdeckt werden können, müssen sie etwa 2-3 ms lang sein. Diese Schwelle wurde in einer Reihe von Studien bestätigt (z.B. Penner, 1977; Fitzgibbons, 1983; Forrest & Green, 1987; Green & Forrest, 1989). Bei Schmalbandrauschen und Sinustönen steigen die Schwellen auf 5 bis 10 ms (z.B. Moore & Glasberg, 1988; Shailer & Moore, 1985, 1987; Green & Forrest, 1989).

Muss die Reihenfolge von zwei auditiven Reizen bestimmt werden ("temporal order thresholds"), steigt die Schwelle weiter an.

Werden Paare von 1 ms kurzen Klicks interaural dargeboten, so ist bei Gesunden ein

zeitlicher Abstand von etwa 20 bis 40 ms nötig, um bestimmen zu können, in welchem der beiden Ohren der Klick zuerst auftrat (Lotze et al., 1999). Für das monaurale System berichtet Hirsh (1959) Zeiten von mindestens 15 bis 20 ms, die zwischen dem Einsetzen von zwei kurzen Reizimpulsen, die sich in Tonhöhe oder Klangfarbe deutlich voneinander unterscheiden, liegen müssen, um ihre Reihenfolge bestimmen zu können. Diese Fähigkeit ist laut Hirsh (1959) z.B. wichtig, um Wörter wie “mitts” (Handschuhe) und “mist” (Nebel) unterscheiden zu können.

Ist jedoch die Reihenfolge von Items in Sequenzen von mehr als zwei auditiven Reizen zu bestimmen, so erweist sich diese Aufgabe als ungleich schwieriger (Warren, 1999). Einige Studien berichten hier von Schwellen zur Bestimmung der Reihenfolge, die eine Präsentationsrate von 100 ms pro Item nicht unterschritten, wenn bis zu vier Vokale oder Konsonant-Vokal-Silben aneinander gereiht wurden und ständig wiederholt wurden (z.B. Cullinan et al., 1977; Thomas et al., 1970; siehe Warren, 1999, für einen Überblick). Bei nicht-verbalen auditiven Reizen und drei Items stieg die notwendige Präsentationsrate auf mindestens 200 ms pro Item (Warren & Ackroff, 1976). Dies wird dadurch begründet, dass zur Bestimmung der Reihenfolge von Items in mehrkomponentigen Sequenzen die Reize intern verbal benannt werden müssen. Sind die Reize bereits Vokale oder Silben, fällt diese Kodierung weg und führt so zu niedrigeren Schwellen (Warren, 1974).

Ein anderes Bild bietet sich, wenn Sequenzen nur *unterschieden* werden müssen, ohne die Reihenfolge einzelner Items anzugeben.

So zeigten Warren & Bashford (1993), dass Versuchspersonen 10-komponentige Sequenzen, bestehend aus 40 ms langen Sinustönen, unterscheiden konnten, wenn jeweils nur die Reihenfolge von zwei der Komponenten vertauscht war. In einem zweiten Experiment zeigten sie, dass diese Unterscheidungsfähigkeit auch zu beobachten war, wenn 40 ms lange Komponenten aus *frozen noise* aneinander gereiht waren. Der Charakter dieses Reizmaterials lässt die resultierenden Reize nicht mehr als Sequenzen aus voneinander klar trennbaren Elementen erscheinen. Erklärt wird diese Diskriminationsfähigkeit dadurch, dass sie nicht auf der Auflösung und Wahrnehmung einzelner Elemente einer Sequenz beruht, sondern eine Reizfolge als auditives Gesamtereignis wahrgenommen wird und auf der Basis ihrer globalen Charakteristik unterschieden wird (Warren & Bashford, 1993).

In den Experimenten von Watson et al. (1975) waren Versuchspersonen in der Lage, zwischen zwei 10-komponentigen Tonsequenzen zu unterscheiden, wenn eine Komponente eine andere Frequenz aufwies und die Einzelkomponenten eine Dauer von nur 40 ms hatten. Bei den Experimenten von Kidd & Watson (1992) konnten Versuchspersonen selbst Tonmuster bestehend aus nur 10 ms kurzen Komponenten unterscheiden.

Es zeigt sich also, dass die Auflösungsfähigkeit des auditiven Systems sehr fein ist, die für die Auflösung einzelner Reizbestandteile nötigen Zeitunterschiede aber zunehmen, je anspruchsvoller die Aufgaben werden.

Im Kontrast zu den Befunden zur zeitlichen Auflösung stehen Phänomene zur Langzeitintegration auditiver Information. Diese widersprüchlichen Ergebnisse werden häufig als “Resolution-Integration-Paradox“ bezeichnet (Stellmack & Viemeister, 2000).

1.1.2 Langzeitintegration

Zu den Phänomenen der Langzeitintegration gehört z.B., dass erst nach etwa 200 ms Darbietungszeit eines Reizes ein stabiler Lautheitseindruck gebildet wird (Moore, 1997). Ferner liefern Signalentdeckungsexperimente Integrationszeiten von hunderten von Millisekunden (z.B. Green et al., 1957; Green, 1960; Green & Swets, 1966 - “energy detection model“). In diesen Experimenten nimmt die Schwelle zur Entdeckung eines Sinustones mit zunehmender Reizdauer kontinuierlich ab, und das bis zu einer Dauer von ca. 150-200 ms (z.B. Hughes, 1946; Plomp & Bouman, 1959). Auch die Beobachtung, dass sich die Entdeckung eines Frequenzunterschieds zwischen zwei Tonpulsen verbessert, wenn sich die Dauer der Tonpulse verlängert, passt in dieses Schema. Dieser Effekt ist ebenfalls bis zu ein paar hundert Millisekunden Reizdauer zu beobachten (Moore, 1973).

1.2 Nutzung der sensorischen Information

1.2.1 Erklärungsmodelle

Um dieses Paradox bezüglich Befunden zur Langzeitintegration einerseits und feiner zeitlicher Auflösung andererseits zu erklären, wurden in der Literatur verschiedene Möglichkeiten diskutiert, die im Folgenden näher beschrieben werden. Im Mittelpunkt steht dabei die Frage, mit welchen Mechanismen aufgenommene Information verarbeitet wird, um verschiedene Aufgaben erfüllen zu können.

1.2.1.1 Zwei Systeme mit unterschiedlichen Integrationszeiten

Einige Autoren schlagen zwei verschiedene Systeme mit unterschiedlichen Integrationszeiten vor, die jeweils bei unterschiedlichen Aufgaben aktiv werden (z.B. Green, 1985; de Boer, 1985). Für die Langzeitintegration stehen z.B. das “energy detection model“ (Green, 1960; Green & Swets, 1966), das von perfekter Integration des auditorischen Inputs über eine fixe Zeitperiode (üblicherweise 200 ms) ausgeht, sowie Modelle mit “leaky integration“ (Munson, 1947; Plomp & Bouman, 1959; Zwislocki, 1960, 1969; Jeffress, 1967, 1968) mit einer langen Zeitkonstante von üblicherweise mehreren hundert Millisekunden. Diese Modelle erklären auch einen beobachtbaren *time-intensity trade*, wonach eine konstante Stufe der Entdeckbarkeit eines Signals entweder erreicht werden kann durch eine höhere Signalintensität bei kürzerer Darbietungsdauer, oder durch eine längere Darbietungsdauer bei geringerer Signalintensität (Green, 1985).

Das System mit kürzeren Integrationszeiten wird demgegenüber z.B. aktiv in Experimenten zur “gap detection“ (z.B. Forrest & Green, 1987).

1.2.1.2 “Multiple Looks“

Eine andere Erklärung liefert die “Multiple Looks“-Hypothese von Viemeister & Wakefield (1991). Die Autoren gehen davon aus, dass keine Langzeitintegration über Hunderte von Millisekunden stattfindet. Stattdessen wird angenommen, dass viele Kurzzeit-“Schnappschüsse“ (“looks“) von wenigen Millisekunden Dauer aufgenommen, akkumuliert und gespeichert werden, so dass sie dann je nach Aufgabenstellung selektiv genutzt werden können. Damit können beide Arten von Experimentalergeb-

nissen erklärt werden. In den Signalentdeckungsexperimenten wird die Information aus den “multiple looks“ über einen längeren Zeitraum integriert. Bei Experimenten, wo die zeitliche Auflösung entscheidend ist, werden die “looks“ entsprechend selektiv so genutzt, wie es für diese Aufgabe optimal ist. Das Modell geht bei der Reizverarbeitung von einem Zeitfenster mit kurzen Zeitkonstanten von etwa 3 ms aus. Der laufende Output dieses Zeitfensters wird in einem Kurzzeitgedächtnis mit eigener Verfallscharakteristik gespeichert, dessen Zeitkonstante länger als die der einzelnen Fenster ist und mehrere Hundert Millisekunden umfassen soll. Die Repräsentation im Gedächtnisspeicher wird als Vektor von “looks“ bzw. Stichproben angesehen, die vom dargebotenen Reiz genommen wurden. Diese “looks“ stehen dann für verschiedene Arten der Verwertung zur Verfügung. Sie können - je nach Aufgabenstellung - miteinander verglichen oder integriert werden, um z.B. Lücken im Signal zu entdecken (“temporal resolution“) oder das Signal als Ganzes zu entdecken (“temporal integration“) (Viemeister & Wakefield, 1991).

1.2.1.3 Bildung von “Durchschnittsrepräsentationen“ (*Templates*) zur Unterscheidung von Reizen

Das Konzept des Aufbaus von *Templates* wird von mehreren Autoren angesprochen (u.a. Dau, Püschel & Kohlrausch, 1996a, 1996b; Dau, Kollmeier & Kohlrausch, 1997a, 1997b; Glasberg, Moore & Peters, 2001). Dieses Konzept geht davon aus, dass ein Hörer, der einen spezifischen Reiz erkennen soll, ein Reizmuster, also ein *Template*, entwickelt, mit dem er die dargebotenen Reize vergleicht. Dieses *Template* basiert auf einer Durchschnittsrepräsentation des zu entdeckenden Reizes, das über eine Reihe von Darbietungen hinweg aufgebaut wird. In einem üblichen Experiment wird ein *Template* möglicherweise während der frühen Durchgänge aufgebaut. Sobald das *Template* gebildet ist, kann ein Proband die interne Repräsentation eines Reizes in einem beliebigen Durchgang mit dem *Template* vergleichen. Die Entscheidung einer Versuchsperson basiert dann auf der Ähnlichkeit zwischen (neuer) Reizrepräsentation und *Template*. Wo es sinnvoll ist, wird intelligente Gewichtung von Reizkomponenten angewandt. Bei anderen Reizsituationen, wie z.B. der Sprachwahrnehmung, kann ein *Template* auch im Langzeitgedächtnis gespeichert werden. In einem solchen Fall basieren die *Templates* auf exzessiver früherer Erfahrung mit dem Reizmaterial, wie es z.B. bei der eigenen Muttersprache der Fall ist.

1.2.1.4 Moores STEP-Modell

Moore (2003) bringt in seinem Artikel “Temporal integration and context effects in hearing“ die Konzepte der “Multiple looks“ und den Vergleich von *Templates* und Stimulusrepräsentation in einem einheitlichen theoretischen Rahmen zusammen. Moore gibt ein (vereinfachtes) Modell der Prozesse an, die von der Verarbeitung der einzelnen “looks“ zu einer kompletten Repräsentation des Reizes führen. Die frühen Transformationsprozesse sollen im peripheren auditiven System in vier Stufen der Reizverarbeitung stattfinden. Das Ergebnis dieser vier Verarbeitungsstufen soll zu einer internen Repräsentation des Reizes führen. Diese Repräsentation entspricht laut Moore einem dreidimensionalen Vektor und enthält als Informationen die Frequenz, den zeitlichen Verlauf und den Pegel des Reizes. Das resultierende Muster wird STEP genannt (“spectro-temporal excitation pattern“; Moore, 1996). Wie Viemeister & Wakefield (1991) in ihrer “Multiple Looks“-Hypothese, geht auch Moore (2003) davon aus, dass die Repräsentation eines gegebenen Reizes im Kurzzeitgedächtnis gespeichert wird. Die Repräsentation kann als Vektor von Stichproben oder “looks“ betrachtet werden, die für verschiedene Arten von Berechnungen und Vergleichen zur Verfügung stehen. Es wird angenommen, dass die “looks“ “intelligent“ verwendet werden, z.B. dadurch, dass einige stärker gewichtet werden als andere, um eine spezifische Aufgabe zu erfüllen, z.B. um sie mit gespeicherten *Templates* zu vergleichen.

1.2.2 Gewichtung von aufgenommener Information

Das “Multiple looks“-Modell, wie auch das STEP-Modell und das Konzept der Bildung von *Templates* gehen davon aus, dass ein entscheidender Aspekt bei der Unterscheidung von auditiven Reizen die Verwendung bzw. *Gewichtung* der aufgenommenen Reizbestandteile ist. Im idealen Fall wird also nicht einfach die gesamte eintreffende akustische Energie integriert, sondern die “looks“ werden je nach Aufgabenstellung *optimal* gewichtet. Tragen alle Komponenten eines Reizes gleiche Information zur Lösung der gestellten Aufgabe, so ist eine gleiche Gewichtung aller “looks“ optimal. Genauso ist es nach der “Multiple looks“-Hypothese möglich, Information zu ignorieren, die zur Lösung einer Aufgabe überflüssig ist. Die den “looks“ zugeteilten Gewichte sollten diese Verteilung der Information reflektieren. In einem solchen Fall wäre eine Gleichgewichtung aller Komponenten nicht optimal (Stellmack & Viemeister, 2000).

Genau das konnten Viemeister & Wakefield (1991) in einem Hörversuch zeigen. Die Entdeckbarkeit zweier Tonpulse blieb von den variierenden Pegeln von “irrelevantem“ dazwischengeschaltetem Rauschen unberührt, was darauf hinweist, dass die eintreffende akustische Energie nicht einfach integriert wurde, sondern Information aus dem Rauschen vom auditiven System ignoriert wurde. Dies bestätigt die “Multiple looks“-Hypothese.

Es gibt einige experimentelle Befunde zur Verwertung akustischer Information bei verschiedenen Aufgabenstellungen (Stellmack & Viemeister, 2000, geben einen Überblick).

So stellte Buus (1999) seinen Probanden die Aufgabe, ein Signal aus zehn 25 ms-Tonimpulsen in Rauschen zu entdecken. Er berechnete zeitliche Gewichte, mit denen jeder einzelne Tonimpuls zur Entdeckung des Signals beitrug. Buus fand fast gleiche Gewichte für alle zeitlichen Positionen. Eine gleiche Gewichtung aller Tonimpulse ist hier auch die optimale Strategie für einen Hörer, denn alle Tonimpulse enthalten gleichwertige Information zur Entdeckung des Signals.

Lutfi (1990) benutzte eine Unterscheidungsaufgabe, bei der Versuchspersonen Veränderungen in der Frequenz, dem Pegel oder der Dauer einer Sequenz von Tonimpulsen erkennen sollten. Auch er berechnete Gewichte für den Beitrag jedes einzelnen Tonimpulses zur Entscheidung der Probanden. Es resultierten nahezu gleiche Gewichte für alle Impulse, was auch für diese Aufgabe die optimale Gewichtungsstrategie war.

Die Überlegungen von Viemeister & Wakefield (1991) zeigen, dass sich Phänomene zur Langzeitintegration (z.B. die beschriebenen Ergebnisse aus Signalentdeckungsexperimenten) nur durch Gewichtsfunktionen erklären lassen, die keine zeitliche Gleichgewichtung aufweisen. Vielmehr müssten die ersten “looks“ zu Beginn des Reizes niedriger gewichtet werden als spätere “looks“. Viemeister & Wakefield (1991) geben eine mögliche Erklärung für dieses Gewichtungsmuster durch Beobachterunsicherheit über den genauen Reizbeginn. Außerdem müssten Gedächtniseffekte berücksichtigt werden. Unter der Annahme, dass der Beitrag jedes “looks“ über die ersten 200 ms eines Reizes kontinuierlich zunimmt, kann die “Multiple looks“-Hypothese die empirischen Ergebnisse aus Signalentdeckungsexperimenten erklären (Buus, 1999).

Ellermeier & Schrödl (2000), Schrödl (2001) und Werner (2002) berechneten Gewichte in Lautheitsintegrationsaufgaben im überschwelligen Bereich. Es sollten jeweils Exemplare von in zehn Segmenten im Pegel fluktuierenden weißen Rauschens in ihrer

Lautheit beurteilt werden. Die Pegelstufen wurden in jedem Segment zufällig aus einer von zwei Normalverteilungen gezogen, wobei eine einen höheren Mittelwert aufwies als die andere. Die Probanden sollten in jedem Durchgang jeweils zwei solcher im Pegel fluktuierenden Intervalle nach ihrer Gesamtlautheit unterscheiden, wobei jeweils die Pegel eines Intervalles aus einer der beiden Pegelverteilungen stammten, die Pegel des zweiten Intervalls aus der anderen Verteilung. Eine optimale Gewichtung wäre hier wieder im Sinne der Aufgabe eine Gleichgewichtung aller Segmente. Es zeigte sich, dass die Segmente tendenziell nicht gleich gewichtet wurden, sondern Anfang und Ende betont wurden.

Berg (1989) untersuchte Gewichtungsstrategien von Versuchspersonen bei der Unterscheidung von zeitlichen Tonmustern (zufälligen Melodien). Die Frequenzen der in den Mustern enthaltenen Töne wurden jeweils zufällig aus zwei Verteilungen gezogen. Die Mittelwerte der Verteilungen unterschieden sich um 100 Hz. In einem 1IFC-Verfahren mussten Versuchspersonen entscheiden, aus welcher Verteilung das jeweils gehörte Tonmuster stammte - aus der mit höherer oder tieferer mittlerer Frequenz. Berg untersuchte Sequenzen aus 50-ms-Tönen mit 4, 6, 8 oder 10 Komponenten und schätzte Gewichte für den Einfluss jeder Komponente auf die Entscheidung einer Versuchsperson. Es zeigte sich auch hier ein "u-förmiger" Verlauf. Anfangs- und Endkomponenten wurden stärker gewichtet als mittlere Komponenten. Das zeigt, dass Versuchspersonen die dargebotene Information nicht optimal nutzten.

Gilkey & Robinson (1986) untersuchten eine Fragestellung, bei der Gleichgewichtung aller Reizsegmente nicht optimal war. Sie boten ein 500-Hz-Signal innerhalb eines Maskierers aus Breitbandrauschen dar. Dabei befand sich das 100 ms lange Signal zeitlich so im 148 ms langen Maskierer eingebettet, dass das Rauschen vor und nach dem Signal einen "Saum" bildete. Die Aufgabe bestand darin, das Signal im Maskierer zu entdecken. Es wurden Gewichte für das Signal wie auch die Teile des Maskierers berechnet, die keine Signalinformation enthielten. Für den Teil des Maskierers, der dem Signal vorangestellt war, resultierten Gewichte nahe 0 bzw. negative Gewichte. Für den Teil des Maskierers, der dem Signal nachgestellt war, weisen die Gewichte starke individuelle Unterschiede auf. Bei einigen Versuchspersonen ist die letzte Komponente des Reizes stark betont, obwohl sie nur noch den Maskierer enthielt. Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass es einigen Versuchspersonen nicht immer gelingt,

überflüssige Reizkomponenten zu ignorieren.

Im Experiment von Lutfi (1992) war die Aufgabe, zwei Tonmuster zu vergleichen, bei denen sich jeweils ein Ton im Pegel unterschied. Auch hier sollten Probanden die Töne ignorieren, die keine Lösungsinformation enthielten. Und auch hier zeigte sich, dass dies vielen nicht gelang. Es zeigte sich wieder ein starker Recency-Effekt.

Schlauch et al. (1999) präsentierten Sequenzen von kurzen Rauschen, die im Pegel wechselten zwischen 60 und 80 dB SPL. Es wurden zwei Aufgaben gegeben: In der ersten sollten Versuchspersonen angeben, ob das erste Rauschen eines mit hohem oder niedrigem Pegel war. In der zweiten Aufgabe sollten die Elemente mit hohem Pegel gezählt werden. Die Leistung der Versuchspersonen hing stark von der Präsentationsfrequenz ab. Mit kürzer werdenden Pausen zwischen den Rauschsegmenten nahm die Leistung ab. Die Autoren setzten die Grenze der zeitlichen Auflösung bei 20 Hz an. Das entspricht einer Pause von 25 ms zwischen den Rauschen.

Stellmack und Viemeister (2000) prüften in zwei Experimenten die Flexibilität der Gewichtungsstrategie bei der Unterscheidung von Tonimpulsen. Ihr Ziel war zu untersuchen, ob Versuchspersonen in der Lage sind, ihre Gewichtungsstrategien anzupassen, wenn die Relevanz der Reizkomponenten variiert wurde. Als Reize verwendeten sie Paare von diskreten Tonimpulsen von 10 ms Dauer, die zeitlich nacheinander dargeboten wurden. In einer Bedingung sollten die Probanden Änderungen im Pegel eines Tonimpulses erkennen, während Änderungen im Pegel des anderen Tonimpulses ignoriert werden sollten. Bei einer solchen Aufgabe ist die optimale Strategie, alles Gewicht auf die Zielreizkomponente zu legen, während die andere Reizkomponente ignoriert werden sollte, denn ihre Information trägt nichts zur Lösung bei. In einer zweiten Bedingung sollte jeweils der Pegel des ersten Tonimpulses mit dem des zweiten verglichen werden und angegeben werden, welcher von beiden den höheren Pegel aufwies. In dieser Bedingung ist die optimale Strategie, Gewichte gleichen Betrages auf beide Reizkomponenten, aber jeweils mit entgegengesetztem Vorzeichen, zu setzen. Gewichtungsstrategien werden in Abhängigkeit des Intervalls zwischen den beiden Tonimpulsen (IPI) analysiert, die in 7 Abstufungen zwischen 2 und 256 ms lagen. Es zeigte sich, dass die Probanden in der Lage waren, ihre Gewichtungsstrategie den verschiedenen Aufgabenstellungen anzupassen. Es gelang ihnen jedoch kaum, irrelevante Tonimpulse vollständig zu ignorieren, wie es für Bedingung

1 optimal gewesen wäre. Dies war besonders schwierig bei IPIs von 8-16 ms. Mit längeren IPIs wurde die Leistung besser. Auch war die Leistung besser, wenn der zweite Tonimpuls der Zielreiz war. Bei Bedingung 2 (Differenzaufgabe) war die Leistung am niedrigsten bei IPIs von 16-32 ms. Dies ist konsistent mit Aufgaben zur Bestimmung der Reihenfolge von Reizen ("temporal order judgments"; Babkoff & Sutton, 1963; Green, 1973), denen die Aufgabe in Bedingung 2 ähnelte. In einem zweiten Experiment zeigten sie, dass Schwellen in der Intensitätsunterscheidung (JNDs) eines Tonimpulses von einem zweiten Nicht-Zielimpuls beeinträchtigt werden. Die JNDs steigen mit zunehmendem Pegel des Nicht-Zielimpulses an. Stellmack & Viemeister stellten fest, dass die Annahme, jeder Tonimpuls würde von der Wahrnehmung als ein "look" behandelt, nicht ausschließt, dass mehrere Tonimpulse als ein auditives Ereignis wahrgenommen werden. Dennoch muss die zeitliche Auflösung so fein sein, dass die Veränderungen innerhalb dieses auditiven Ereignisses erkannt werden können. Genau das steht im Einklang mit der "Multiple looks"-Hypothese. Denn sie impliziert, dass Interaktionen in der Verarbeitung der Pegelinformation der einzelnen Tonimpulse auf einer zentralen Verarbeitungsebene stattfinden, nachdem die Intensitäten der einzelnen "looks" auf einer früheren Verarbeitungsstufe extrahiert wurden (Stellmack & Viemeister, 2000). Die JNDs, die unabhängig vom IPI beeinflusst werden durch den Pegel einer "Distraktorkomponente", weisen dementsprechend auch darauf hin, dass die veränderten Gewichtsstrategien in Abhängigkeit vom IPI aus Experiment 1 nicht auf abnehmende Sensitivität gegenüber Pegeländerungen bei abnehmendem IPI zurückzuführen sind. Die Pegelsensitivität ist also vorhanden. Diese Eigenschaften können auch bei kleinen IPIs extrahiert werden. Der Vergleich der Eigenschaften bzw. die (spätere) Verwendung der "looks" muss demnach beeinträchtigt sein, die auf einer höheren Ebene stattfindet.

Die Ergebnisse von Stellmack & Viemeister (2000), sowie von Lutfi (1990) und Buus (1999), zeigen, dass es für Probanden einfacher ist, die optimale Strategie anzuwenden, wenn dies erfordert, die Information aus allen Reizkomponenten zu verwenden. Müssen Informationen und damit Komponenten ignoriert werden, fällt dies Versuchspersonen schwerer, zumindest dann, wenn gleichartige Information zu ignorieren ist. Denn bei Viemeister & Wakefield (1991), wo Rauschen zwischen Tonimpulsen zu ignorieren war, ergab sich dieser Effekt nicht. Ferner zeigen die

Ergebnisse von Stellmack & Viemeister (2000), dass irrelevante Reizkomponenten leichter zu ignorieren sind, wenn die Reizkomponenten mehr als 16 ms auseinander liegen.

Die dargestellten Befunde aus Verhaltensexperimenten konnten Modelle wie das "Multiple Looks"-Modell (Viemeister & Wakefield, 1991) und das STEP-Modell (Moore, 1996) bestätigen. Diese Modelle gehen davon aus, dass schnelle Fluktuationen oder Änderungen in auditiven Reizen zunächst in kleinen zeitlichen Einheiten ("multiple looks") von wenigen Millisekunden aufgenommen werden und zu größeren Einheiten (Reizrepräsentationen von mehreren hundert Millisekunden) kombiniert werden. Die innerhalb dieser größeren Einheiten repräsentierten Reizeigenschaften sollen dann für verschiedene Aufgaben wie den Vergleich neuer Reize mit einem *Template* (z.B. Dau, Püschel & Kohlrausch, 1996a), gebildet aus früheren Reizdarbietungen, zur Verfügung stehen. Interessante Befunde zu diesem Themenkomplex der frühen auditorischen Reizverarbeitung finden sich auch in neurophysiologischen Untersuchungen. So befassen sich hier Forschungsbereiche mit der Untersuchung von Mechanismen präattentiver Verarbeitung auditiver Reize wie auch des Übergangs von präattentiven Vorgängen hin zur bewussten Wahrnehmung von Veränderungen in der Hörumwelt. Mittels der Messung evozierter Potentiale wurden auch neuronale Korrelate gefunden, die die verschiedenen Verarbeitungsstufen hin zur Bildung einer Reizrepräsentation reflektieren. Befunde aus diesen neurophysiologischen Untersuchungen geben Aufschluss über die Dauer des Prozesses, der zur Bildung einer Reizrepräsentation führt. Ferner liefern sie Hinweise auf die Existenz eines gleitenden zeitlichen Integrationsfensters von etwa 150-200 ms (z.B. Näätänen, 1992) und auf die Eigenschaften der Prozesse, die Reizveränderungen innerhalb eines solchen Zeitfensters verarbeiten. Im Folgenden sind einige dieser Befunde und auf deren Grundlage entwickelte Modelle dargestellt.

1.3 Neurophysiologische Befunde

1.3.1 Modelle der frühen auditorischen Reizverarbeitung

Schröger (1997) beschreibt auf der Grundlage neurophysiologischer Befunde ein Modell zur Entdeckung von Unterschieden zwischen aufeinander folgenden auditiven Reizen. Dieses basiert auf dem Vergleich zweier Reizrepräsentationen R' und R . Postuliert wird ein präattentives System zur Entdeckung von potentiell für den Organismus relevanten Änderungen in der akustischen Umwelt ("preattentive deviance detection system"). Dieses System ist aktiv, ohne dass Aufmerksamkeit auf akustische Reize gerichtet sein muss, kann diese jedoch, wenn nötig, auf entsprechende Reizereignisse lenken. Das Modell geht davon aus, dass aus der akustischen Umwelt ständig Reizattribute extrahiert werden. Die invarianten Attribute der gerade kurz zurückliegenden Stimulation werden jeweils in einer Reizrepräsentation R' gespeichert und mit der jeweils neu eintreffenden aktuellen Reizrepräsentation R verglichen. Die extrahierten Attribute können einfache Eigenschaften wie Tonhöhe oder Lautheit sein, aber auch komplexere Kombinationen solcher Eigenschaften. Untersuchungen zeigen, dass beim Aufbau der als Vergleichsgrundlage dienenden Repräsentation R' sogar für die unmittelbare Zukunft erwartete Reizeigenschaften antizipiert werden und entdeckt wird, wenn eintreffende Reize von dieser Erwartung abweichen (Näätänen et al., 2001). Um effizient arbeiten zu können, muss das System zur Entdeckung von Abweichungen in der akustischen Stimulation ständig auf den neuesten Stand gebracht, d.h. die Repräsentation R' aktualisiert werden. R und R' müssen zum Vergleich im sensorischen Gedächtnis kurzzeitig gespeichert werden. Cowan (1984, 1995) geht von zwei Phasen des auditiven sensorischen Gedächtnisses aus: Die erste, kurze, Phase entspricht dabei einer Art sensorischen Nachbildes, das als Fortsetzung des Reizes wahrgenommen wird und einige hundert Millisekunden (100-200 ms) anhalten soll. Die zweite, längere, Phase wird als eine Art "lebendiger Gedächtnisspur" ("vivid recollection"; Cowan, 1995, S. 61) wahrgenommen und soll zwischen 10 und 20 Sekunden anhalten. Das Modell von Schröger (1997) geht davon aus, dass die Repräsentation R' im längeren akustischen Speicher vorgehalten wird und dadurch für den Vergleich mit der aktuellen Repräsentation R zur Verfügung steht, die Teil des kurzen sensorischen Speichers sein soll. Eine ganze Reihe

neurophysiologischer Studien weisen darauf hin, dass akustische Reize, die von einem wiederholt dargebotenen Standardreiz abweichen, eine bestimmte Komponente ereigniskorrelierter Potentiale auslösen - die "Mismatch Negativity" (MMN; z.B. Näätänen et al., 1978). Eine Reihe von Untersuchungen hat die Auslösung von Mismatch Negativity nachgewiesen für Änderungen sowohl in einfachen Reizattributen wie auch komplexen Kombinationen von Reizattributen, darunter auch für diese Untersuchung interessant: Lautheitsänderungen (Näätänen et al., 1987) und Änderungen in Kombinationen von zeitlichem Ablauf und Lautheit (Schröger et al., 1996).

Näätänen & Winkler (1999) betrachten das Auftreten einer MMN als Nachweis (neurophysiologisches Korrelat) für den erfolgreichen Aufbau einer Reizrepräsentation. Eine Reizrepräsentation enthält laut Näätänen & Winkler die Reizattribute inklusive der zeitlichen Struktur eines Reizes. Die Reizrepräsentation steht laut Näätänen & Winkler am Ende eines dreistufigen Prozesses der frühen auditorischen Verarbeitung, bestehend aus "afferent activation pattern" (afferentes Aktivierungsmuster), "sensory feature traces" und schließlich der Stufe der Reizrepräsentation ("sensory stimulus representation"), die sich teilweise überlappen. Demnach bilden die beiden ersten Stufen die prärepräsentationale Phase, die letzte Stufe die repräsentationale Phase der auditorischen Reizverarbeitung. In der Anfangsphase der "afferent activation pattern" wird die akustische Information einer Reihe von schnellen Transformationen unterzogen, in deren Verlauf "auditory features" für die nächste Verarbeitungsstufe extrahiert werden. Die erregten Neuronen kehren fast sofort in ihren Ausgangszustand zurück, nachdem die afferente Aktivierung sie passiert hat. Diese Vorgänge speichern noch keine Information, sind also noch nicht stabil, sondern transformieren vielmehr kontinuierlich die Reizinformation. Es schließt sich die zweite Phase an, in der "sensory feature traces" gebildet werden. Dafür muss der gesamte Output der ersten Phase der Zerlegung in Gedächtnisspuren zwischengespeichert werden. Diese "feature traces" müssen sich im Vergleich zu "afferent activation patterns" durch zwei Eigenschaften auszeichnen: 1. Stabilität und 2. Reizspezifität. Stabilität erfordert, dass die Gedächtnisspur des Reizes zumindest kurzzeitig (etwa 100 ms) an einem neuroanatomischen Ort verbleiben muss, also solange anhalten muss. Reizspezifität fordert, dass die Auflösung der sensorischen Information in den "feature traces" hoch genug

sein muss, so dass keine abstrakte Reizkategorie eine äquivalente Beschreibung der Reizinformation bieten könnte. Hier wird also Wert auf den Erhalt der *sensorischen* Information gelegt im Gegensatz zur rein kategorialen, wie z.B. laut vs. leise, hoher Ton vs. tiefer Ton. In der dritten Phase erst entsteht laut Näätänen & Winkler die eigentliche Reizrepräsentation. Hierfür werden die vorhandenen Gedächtnisspuren alle zu einer einheitlichen Gedächtnisstruktur integriert. Hierin ist das Reizereignis als wirklichkeitsgetreue Einheit enkodiert, inklusive der zeitlichen Struktur des Ereignisses, und entspricht darin genau der Wahrnehmung des akustischen Ereignisses. Näätänen & Winkler postulieren, dass die Integration der einzelnen Reizattribute gesteuert wird durch die Information über die zeitliche Abfolge des Reizereignisses, die daraus extrahiert wird. "Time appears to provide the medium onto which the different aspects of the stimulus event are mapped." (Näätänen & Winkler, 1999, S. 827). Im Gegensatz zu den reinen "feature traces" zeichnen sich Reizrepräsentationen dadurch aus, dass sie einer Vielzahl mentaler Operationen zur Verfügung stehen. Zusätzlich zu den beiden genannten Eigenschaften (1) Stabilität und (2) Reizspezifität müssen Repräsentationen deshalb noch weitere Bedingungen erfüllen:

3. *Vollständigkeit* ("completeness"): Die gespeicherte Information enthält nun den gesamten Output der Reizanalyse, einschließlich aller Verknüpfungen von Reizeigenschaften und der zeitlichen Struktur komplexer Schallereignisse.

4. *Wahrnehmungsgetreue Abbildung* ("correspondence to perception"): Die Reizrepräsentation bestimmt die Wahrnehmungsinhalte und bildet sie auch möglichst wirklichkeitsgetreu ab.

5. *Verfügbarkeit* ("accessibility"): Die in Reizrepräsentationen gespeicherten sensorischen Informationen stehen einer Vielzahl von "top-down"-Operationen zur Verfügung.

Dasjenige neurophysiologische Korrelat, das die Stufe der Stimulusrepräsentationen reflektiert, ist laut Näätänen & Winkler die "Mismatch Negativity" (MMN). Eine "Mismatch Negativity" wird immer dann ausgelöst, wenn in einer sonst homogenen Sequenz auditiver Reize ein abweichender Reiz auftaucht. Ihr Maximum

erreicht die Amplitude nach ca. 100-200 ms ab Stimulus Onset. MMN wird immer durch Veränderungen in der auditiven Stimulation ausgelöst. Es kann also davon ausgegangen werden, dass ein präattentiver Prozess stattfindet, der jeweils den ankommenden Input mit dem vorangegangenen und in Gedächtnisspuren kurzzeitig gespeicherten vergleicht, um Abweichungen sofort zu entdecken. Vor allem Teile des primären und/oder sekundären auditorischen Kortex werden für die Generierung der MMN (bzw. MMNm bei MEG-Untersuchungen) verantwortlich gemacht. Es ist davon auszugehen, dass die Prozesse, die MMN auslösen, sich auf Reizspuren von vorhergehenden auditiven Reizen stützen. Es ist in diesem Zusammenhang wichtig festzuhalten, dass die MMN nicht direkt bestimmte Gedächtnisspuren reflektiert, sondern dass die Auslösung und Beobachtung von MMN nur eine Möglichkeit darstellt, bestimmte Vorgänge nachzuweisen bzw. zu testen.

Näätänen & Winkler (1999) stellen fest, dass neuronale Spuren, die durch die Erzeugung von MMN nachgewiesen werden können, die Kriterien einer Reizrepräsentation erfüllen.

Sie sind (1) stabil, denn die sensorische Information wird "haltbarer" abgespeichert und ist für längere Zeit verfügbar. Diese Dauern reichen bis etwa 10 Sekunden, und Muster können aber auch nach Stunden reaktiviert werden (Cowan et al., 1993). Auch wenn es um das Unterscheiden von Komponenten der eigenen Sprache von Komponenten einer fremden Sprache geht, kann MMN ausgelöst werden. In solchen Fällen sind die zugrundeliegenden Reizinformationen noch über viel längere Zeiträume gespeichert und verfügbar (z.B. Näätänen et al., 1997).

Sie sind (2) reizspezifisch, denn der Ursprungsort der MMN-Generierung variiert zusammen mit den Eigenschaften von Standardreizen und abweichenden Reizen (z.B. Giard et al., 1995; Levänen et al., 1996; Paavilainen et al., 1991). Dies weist darauf hin, dass verschiedene Eigenschaften desselben Reizes an verschiedenen Orten des auditorischen Kortex enkodiert sind. Die Neuronenpopulationen, die die Informationen über die verschiedenen Reizeigenschaften speichern, scheinen deshalb eine funktionell integrierte Reizrepräsentation zu formen, die sich jedoch anatomisch auf verschiedene Orte verteilt.

Sie sind (3) vollständig in dem Sinne, dass die gesamte Reizinformation gespeichert ist. Neben elementaren Eigenschaften wie Frequenz, Intensität und Ort der Schallquel-

le sind jetzt auch Informationen über die zeitliche Struktur des Reizes mit abgespeichert. Dazu gehören auch die Reizdauer und die Reihenfolge von Reizkomponenten, wie auch der zeitliche Kontext der Reize, wie Inter-Stimulus-Intervalle und Rise Time. Dies kann dadurch nachgewiesen werden, dass Abweichungen in all diesen Eigenschaften MMN auslösen können. Es wird also Information über das gesamte Reizeignis vorgehalten. Repräsentiert ist ein auditives Ereignis in der Zeit (z.B. Schröger, 1994; Winkler & Schröger, 1995).

Sie korrespondieren (4) mit der Wahrnehmung der Reize. Zum einen ist die Sensitivität der Auslösung von MMN stark korreliert mit der wahrnehmungsmäßigen Unterscheidungsfähigkeit einer Versuchsperson. So konnten Winkler et al. (1997) zeigen, dass ein "missing-fundamental pitch" bei einer Reizdauer von 500 ms von Probanden entdeckt werden konnte, bei einer Reizdauer von 150 ms jedoch nicht. Genauso wurde eine MMN nur bei einer Reizdauer von 500 ms ausgelöst. Zum anderen korreliert auch die Art der sensorischen Information, die für die Auslösung von MMN verantwortlich ist, mit dem Wahrnehmungseindruck. So kann z.B. die MMN-Amplitude reflektieren, wie stark eine Abweichung zwischen Standardton und Vergleichston empfunden wird. Je stärker sich die wahrgenommenen Tonhöhen unterscheiden, desto größer wird auch die Amplitude der MMN (z.B. Tiitinen et al., 1994). Auch die zeitliche Verarbeitung eines Reizes scheint in MMN reflektiert zu werden. So korrelieren MMN Peak-Latenzen stark mit der Reaktionszeit von Probanden (z.B. Novak et al., 1992).

Damit scheint der Prozess zur Entdeckung von Änderungen im Reizgeschehen, wie er durch MMN reflektiert wird, auf denselben sensorischen Informationen zu beruhen, die auch für höhere Wahrnehmungsprozesse zur Verfügung stehen. Damit ist laut der Autoren auch Kriterium (5) Verfügbarkeit erfüllt. Denn die gespeicherte Information kann für verschiedene Prozesse genutzt werden, wie z.B. die bewusste Wahrnehmung von Reizen oder willentlich herbeigeführte Handlungen.

Näätänen & Winkler (1999) haben damit den Prozess der frühen auditorischen Reizverarbeitung in drei Phasen bis zur Bildung einer Reizrepräsentation beschrieben: Der ersten Phase der Extrahierung von Reizattributen ("afferent activation pattern") schließt sich die Phase an, in der stabilere sensorische Gedächtnisspuren ("sensory feature traces") gespeichert werden. Diese enthalten jedoch jeweils nur Teile der Reizinformation und sind auch, abgesehen von der einfachen Entdeckung von Reizen,

höheren Verarbeitungsprozessen noch nicht zugänglich. Diese ersten beiden Stufen werden als prärepräsentationale Phase bezeichnet. Erst auf der dritten Stufe, der repräsentationalen Phase, bilden sich sensorische Reizrepräsentationen heraus, die dann die Ergebnisse der vorhergehenden Reizanalyse enthalten und in denen auch die zeitliche Struktur des Reizes enkodiert ist. Die Bildung einer Reizrepräsentation wird reflektiert durch die Auslösung einer MMN. Repräsentationen sind dann auch höheren Verarbeitungsprozessen zugänglich. Die ungefähre Dauer des Prozesses, der zur Bildung einer Reizrepräsentation führt, wurde von Schröger (1997) in einem Experiment ermittelt. Er stellte fest, dass nur drei Darbietungen eines 30 ms langen Standardtons ausreichen, um bei Darbietung eines davon abweichenden Tones eine MMN auszulösen, wenn die drei Standardreize durch ein Intervall von 170 ms voneinander getrennt waren. Waren die Standardtöne jedoch durch ein Intervall von nur 10 ms voneinander getrennt, wurde nach drei Darbietungen des Standardtons noch keine MMN bei Darbietung eines abweichenden Tones ausgelöst. Damit wurde die nötige Zeit für den Aufbau einer Reizrepräsentation eingegrenzt auf eine Dauer, die zwischen 120 und 400 ms liegen muss, gerechnet vom Zeitpunkt des Einsetzens des ersten Standardtons.

Weitere neurophysiologische Befunde können nun Hinweise darauf liefern, in welchen zeitlichen Einheiten Repräsentationen gebildet werden und welchen Störungen die Speicherung einzelner Reizattribute oder Reizteile auf dem Weg zur Entwicklung einer Repräsentation unterworfen sein können.

1.3.2 Hinweise auf ein zeitliches Integrationsfenster von 150-200 ms

Näätänen (1990, 1992) nimmt ein zeitliches Integrationsfenster ("sliding temporal window of integration") von etwa 150 bis 200 ms an, innerhalb dessen akustische Information zu einem Reizereignis gruppiert werden soll.

Ziel der Untersuchung von Yabe et al. (1997) war der Nachweis der kortikalen Mechanismen dieses Zeitfensters der Integration. Sie zeigen, dass eine Mismatch Negativity (MMN) unter bestimmten Bedingungen auch bei der vollständigen Auslassung eines Tones in einer regelmäßigen Sequenz von Tönen auftritt. Die Idee dahinter ist,

dass eine MMN von einer Reizauslassung nur dann ausgelöst werden sollte, wenn die Stimulus Onset Asynchrony (SOA) so kurz ist, dass ein für gewöhnlich nachfolgender Reiz in das Zeitfenster fällt. Denn nur innerhalb des angenommenen Zeitfensters werden Reize zu einem Reizereignis kombiniert, so dass die Auslassung eines Teils des Reizereignisses als Reizänderung und damit Abweichung vom Standard gewertet wird und eine MMN auslöst. Wenn stattdessen die SOA die Dauer des Zeitfensters übersteigt, sollte keine MMN ausgelöst werden, wenn ein Element der Reizsequenz ausgelassen wird, denn dann fehlt nur ein Reizereignis in einer Sequenz, während die Generierung von MMN auf *Reizänderungen* reagiert. Die untersuchten SOAs betrugen zwischen 100 und 350 ms. Es zeigte sich, dass eine MMN durch Auslassungen nur bei den SOAs von 100 und 125 ms ausgelöst wurde, ab einer SOA von 150 ms nicht mehr. Da eine MMN durch Veränderungen innerhalb eines mehrmals dargebotenen Reizes ausgelöst wird, stützen die Ergebnisse die Hypothese, dass ein Integrationsfenster von bis zu 150 ms am Werke ist, innerhalb dessen auftretende Reizstimulation zu einer Einheit integriert wird, während Stimulation, die außerhalb des Fensters auftritt, als neuer Reiz gewertet wird. D.h., fällt das zweite Reizelement einer Folge in das Zeitfenster, so werden beide Reize zu einem Reizereignis integriert und so als Reizereignis in der neuronalen Gedächtnisspur des auditorischen Kortex abgespeichert und repräsentiert. Abweichungen von diesem gespeicherten Reizereignis lösen dann MMN aus. Auslassungen bei längeren SOAs außerhalb des Zeitfenster werden dagegen nur als Ausbleiben eines Reizes gewertet und lösen deshalb keine MMN aus. Die Untersuchung von Yabe et al. (1998) mittels Magnetenzephalographie (MEG) fand Hinweise auf den Ursprungsort der MMNm im supratemporalen auditorischen Kortex.

Die Ergebnisse von Yabe et al. (1997) bestätigen deshalb die oben beschriebenen Befunde von Schröger (1997). Sind drei 30 ms-Standardreize durch ein Inter-Stimulus-Intervall von 10 ms getrennt, werden sie als ein Reizereignis verarbeitet und lösen bei Darbietung einer Reizabweichung noch keine MMN aus, weil die Darbietung als ein einziger Reiz betrachtet wird. Liegen dagegen 170 ms zwischen den Standardreizen, so fallen sie nicht in ein gemeinsames Integrationsfenster.

Die Studie von Yabe et al. (2001a) kann Hinweise darauf geben, auf welche Weise die Reizorganisation innerhalb des Zeitfensters verarbeitet wird. Sie untersuchten mittels MEG die Auslösung von MMNm (der magnetischen Variante der MMN) bei der Ent-

deckung von abweichenden Segmenten in einer Fünfttonsequenz innerhalb des angenommenen Zeitfensters von 170 ms. Abweichungen vom Standard wurden implementiert, indem ein Segment der Sequenz an jeder Position ausgelassen sein konnte. Die Ergebnisse zeigen, dass die MMNm sequenziell verzögert ausgelöst wurden, je nachdem an welcher zeitlichen Position sich eine Änderung zum Standardreiz zeigte. Diese Verzögerungen waren annähernd proportional zu einem Vielfachen der Segmentdauer von 36 ms. Dies weist laut Yabe et al. (2001a) darauf hin, dass das sensorische auditive Gedächtnis die zeitliche Information in einem Reiz seriell speichert. Die Amplituden der MMNm nahmen außerdem kontinuierlich ab, je später im Reiz die Auslassung erfolgte. Dies deutet darauf hin, dass die Sensitivität, Änderungen zu entdecken, über die Dauer des Reizes innerhalb des Integrationsfensters nicht konstant ist, sondern zum Ende hin abnimmt.

Die Ergebnisse einer weiteren Studie (Yabe et al., 2001b) zeigen, dass innerhalb des angenommenen Zeitfensters nicht eine bloße Summation von Energie stattfindet, sondern die eintreffende Stimulation sinnvoll (z.B. nach der angenommenen Schallquelle) gruppiert wird. Hierzu verwendeten Yabe et al. (2001b) ein ähnliches Paradigma wie in der zuvor genannten Untersuchung und präsentierten Sequenzen bestehend aus Tönen mit alternierend höherer und niedrigerer Frequenz, dargeboten in einem Abstand von 125 ms. Die Frequenzdifferenz wurde in zwei Bedingungen variiert, so dass in einer der beiden Bedingungen aufgrund der hohen Frequenzdifferenz "auditory streaming" auftreten sollte, also die Wahrnehmung zweier voneinander unabhängiger Tonsequenzen. Es zeigte sich eine Priorität des "auditory streaming" gegenüber der zeitlichen Integration. Denn in der Bedingung mit "auditory streaming" wurde bei Auslassung eines Tones keine MMN ausgelöst, in der Vergleichsbedingung wurde demgegenüber eine MMN ausgelöst. Dies wurde damit begründet, dass in der "auditory streaming"-Bedingung die Elemente des wahrgenommenen "streams" zeitlich so weit auseinander lagen, dass sie nicht mehr in ein Integrationsfenster von 160-170 ms fielen. Die dazwischenliegenden Töne des anderen "streams" wurden folglich nicht gemeinsam mit den Tönen des ersten "streams" integriert.

Die Integration innerhalb des angenommenen Zeitfensters von etwa 170 ms ist außerdem nicht immer perfekt. Näätänen & Winkler (1999) beschreiben als kritische Stufe in der Bildung einer Reizrepräsentation die Kombination der extrahierten statischen

Reizeigenschaften mit dem zeitlichen Ablauf des Reizereignisses. Denn auf dem Weg zur Bildung einer Reizrepräsentation ist die aufgenommene Reizinformation noch nicht stabil enkodiert und kann deshalb u.U. verlorengehen, bevor sie Bestandteil der Reizrepräsentation geworden ist. Dies zeigen weitere experimentelle Befunde, wie z.B. Untersuchungen zum “backward recognition masking“ (z.B. Foyle & Watson, 1984; Massaro, 1970). In diesen Experimenten wird ein Testton dargeboten, der zu identifizieren ist, und sehr kurze Zeit nach dem Beginn des Testtons setzt ein Maskierer ein. Die Verzögerung des Einsetzens des Maskierers wurde variiert. Es zeigte sich, dass die Reizeigenschaften des Testtons *unvollständig* verarbeitet wurden, wenn der Maskierer innerhalb eines Zeitintervalls von bis zu 150-200 ms auf den Testton folgte. Dies steht im Einklang mit der Annahme, dass etwa 200 ms, vom Beginn des Reizes ab gerechnet, nötig sind, um eine Reizspur komplett zu entwickeln. Es wird außerdem angenommen, dass die späten Reizkomponenten mehr Gewicht haben als die frühen Reizkomponenten (Zwislöcki, 1960, 1969). Das erklärt ein weiteres Ergebnis von Winkler & Näätänen (1994), in deren Experiment 50-100 ms “Test-to-masker“-Intervalle und die Auslösung von MMN durch Abweichungen vom Testton untersucht wurden. Die Autoren gehen davon aus, dass hier die “Standard+Maskierer“-Spuren und die “Abweichung+Maskierer“-Spuren jeweils vom Maskierer dominiert wurden, wodurch die Unterscheidung zwischen Standard und Abweichung unmöglich wurde und keine MMN zu beobachten war.

Die dargestellten Befunde aus neurophysiologischen Untersuchungen bieten starke Evidenz dafür, dass Repräsentationen von auditiven Reizen in Einheiten eines gleitenden Integrationsfensters (“sliding temporal window of integration“; Näätänen, 1992) von etwa 150-200 ms Dauer gebildet werden. Innerhalb dieses Zeitfensters wird eintreffende Information jeweils zu einem Reizereignis integriert. Das schließt aber nicht aus, dass Veränderungen innerhalb dieses Zeitfensters erkannt werden, wie z.B. die Ergebnisse von Yabe et al. (1997, 2001a) zeigen. Damit stehen diese Befunde im Einklang mit Modellen, die auf der Basis von Verhaltensdaten entwickelt wurden, wie z.B. der “Multiple Looks“-Hypothese (Viemeister & Wakefield, 1991) oder dem STEP-Modell (Moore, 1996) und können damit auch interessante Hinweise auf die Verarbeitung von *komplexeren Schallen*, wie z.B. zeitlichen auditiven Mustern im Millisekundenbereich geben. Hier interessieren z.B. Wahrnehmungsphänomene

wie Sequenzeffekte oder Gewichtung bestimmter Teile eines Reizes für bestimmte Aufgaben. Neurophysiologische Untersuchungen wie auch Verhaltensexperimente haben jedoch gemein, dass sie bei der Untersuchung von Verarbeitungsprozessen bei auditiven Mustern in den meisten Fällen mit Tonsequenzen gearbeitet haben. Untersuchungen zur Verarbeitung schneller Intensitätsveränderungen finden sich noch kaum. Abgesehen von den beschriebenen Untersuchungen von Lutfi (1992) und Schlauch et al. (1999), wurden in den meisten Untersuchungen zu auditiven Sequenzeffekten Tonmuster dargeboten, bei denen sich meist eine oder mehrere Komponenten in Frequenz und/oder Dauer unterschieden (z.B. Watson et al., 1975; Kidd & Watson, 1992; Surprenant, 2001).

Eine systematische Untersuchung der Verarbeitungsmechanismen von zeitlichen Lautheitsprofilen gegenüber Tonmustern ist jedoch besonders interessant, da experimentelle Befunde für unterschiedliche Verfallscharakteristiken der Gedächtnisspuren für Tonhöheinformationen und Lautheitsinformationen sprechen. So zeigten Clément et al. (1999), dass das sensorische Gedächtnis für Lautheit in den ersten 2 Sekunden nach Reizdarbietung viel schneller abnimmt als das für Tonhöhe. Dies deutet darauf hin, dass zwei unterschiedliche Mechanismen und Speicherorte für Lautheitsverarbeitung und Tonhöhenverarbeitung verantwortlich sind. Diese Annahme wird auch von den Ergebnissen der Studie von McFarland et al. (1998) unterstützt, die unterschiedliche Schwellen für Reihenfolgebestimmungen aufgrund von Tonhöhe- und Lautheitsunterschieden gefunden hat.

Die vorliegende Arbeit widmet sich deshalb der Untersuchung der Wahrnehmung schneller Lautheitsänderungen.

1.4 Untersuchung von Lautheitsprofilen - Überblick

Im Mittelpunkt der Arbeit steht die Analyse zeitlicher Lautheitsprofile in einem Bereich von einigen Millisekunden bis Sekunden. Die Fragestellung wird sich auf zwei grundlegende Aspekte beziehen:

1. Die Frage nach der *zeitlichen Auflösungsfähigkeit* des Gehörs in Bezug auf schnelle Lautheitsfluktuationen. Welche Veränderungen in der zeitlichen Struktur von Reizen ist das auditive System in der Lage *wahrzunehmen*, wenn es sich dabei nur auf die Information aus *Pegeländerungen* stützen kann?
2. Die Frage nach der *Nutzung* aufgenommener Information für unterschiedliche Aufgaben. Wie *effizient* kann das auditive System wahrgenommene Information zur Lösung bestimmter Aufgaben einsetzen? Wie *flexibel* können Nutzungsstrategien an wechselnde Aufgabenstellungen angepasst werden?

Die durchgeführten Experimente betrachten verschiedene Aspekte der Analyse von schnellen Lautheitsänderungen durch das auditive System und versuchen, die Mikrostruktur der Verarbeitung einzelner Zeitsegmente in Lautheitsmustern zu erschließen.

1.4.1 Experiment 1 - Zeitliche Lautheitsintegration diskreter Schallereignisse

In Experiment 1¹ wird zunächst eine Aufgabe zur Lautheitsintegration untersucht. Es interessiert, welchen Einfluss die Integrationszeit auf die Gewichtung von einzelnen Zeitsegmenten hat, wenn diese zu einem globalen Lautheitseindruck integriert werden sollen. Hierzu werden Folgen von Breitbandrauschen generiert, deren Gesamtdauer variiert, während die akustische Energie konstant bleibt: jeweils zehn Rauschimpulse von 20 ms Dauer sind durch Pausen von 5, 40 oder 100 ms getrennt. Versuchspersonen sollen in einem 2IFC-Paradigma aus je zwei dargebotenen Pulsfolgen, die

¹Teile der Ergebnisse aus Experiment 1 wurden auf der 47. Tagung experimentell arbeitender Psychologen (*TeaP*) in Regensburg vorgestellt (vgl. Plank & Ellermeier, 2005).

insgesamt “lautere“ auswählen. Mittels der COSS-Methode (Berg, 1989) und der logistischen Regression werden aus den Versuchspersonenurteilen Gewichte abgeleitet, die ein Maß für den relativen Beitrag jedes einzelnen Rauschimpulses zum Gesamtlautheitseindruck einer Versuchsperson angeben. Die Fragestellung in Experiment 1 bezieht sich darauf, welchen Einfluss die zeitliche Verteilung der diskreten Rauschimpulse auf das Gewichtungsmuster hat. Es interessiert, ob Rauschimpulse von 20 ms Dauer unabhängig von der Zeitspanne, über die sie verteilt sind, als diskrete “Einzelereignisse“ gewertet und deshalb unabhängig voneinander gewichtet werden, oder ob Versuchspersonen einzelnen Rauschimpulsen nur dann unabhängige Gewichte zuweisen können, wenn diese in einem größeren zeitlichen Abstand aufeinander folgen. Welche Rolle spielt dabei die Möglichkeit für das auditive System, die Pegelinformation einzelner Rauschimpulse so zeitlich aufzulösen, dass der Pegelverlauf bewusst verfolgt werden kann? Bei Pausen von 100 ms zwischen den Rauschimpulsen ist dies möglich, bei Pausen von 5 ms folgen die Rauschimpulse so schnell aufeinander, dass der Pegelverlauf nicht mehr genau “nachgezeichnet“ werden kann. Es stellt sich die Frage, ob sich dieser Unterschied in den Gewichten niederschlagen wird, mit denen die Pegelinformation einzelner Reizelemente ins Versuchspersonenurteil eingeht.

1.4.2 Experiment 2 - Entdeckung einer Intensitätsspitze in zeitlichen Lautheitsprofilen

Experiment 2² modifiziert die Fragestellung, indem ein Aufgabenwechsel von Lautheitsintegration hin zur Unterscheidung von *Lautheitsprofilen* vorgenommen wird. In einem 2IFC-Verfahren werden jeweils zwei Exemplare zufällig im Pegel fluktuierenden weißen Rauschens dargeboten, wobei eines davon eine Intensitätsspitze von 4 dB in der zeitlichen Mitte des Reizes aufweist. Die Rauschintervalle bestehen dabei aus zehn Zeitsegmenten, deren Dauer in zwei Bedingungen (100 ms und 20 ms) variiert wird. Aufgabe der Versuchsperson ist nun zu entscheiden, welches der beiden Beobachtungsintervalle die Intensitätsspitze auf dem 6. Segment enthält. Im Gegensatz zu Experiment 1, wo noch die gesamte Pegelinformation integriert werden musste, ver-

²Teile der Ergebnisse aus Experiment 2 wurden beim *Fechner Day 2003. 19th annual meeting of the International Society for Psychophysics* in Larnaca, Zypern, vorgestellt und sind im zugehörigen Tagungsband enthalten (vgl. Plank & Ellermeier, 2003).

langt die Aufgabe nun, den Pegelverlauf mit feiner zeitlicher Auflösung zu analysieren, um die Intensitätsspitze zu entdecken. Gelingt dies Versuchspersonen, so müsste sich dies in den Gewichtsmustern niederschlagen, die mittels COSS-Methode (Berg, 1989) und logistischer Regression ermittelt werden und den Einfluss einzelner Zeitsegmente auf das Antwortverhalten der Versuchsperson wiedergeben. Eine optimale Gewichtung im Sinne der Aufgabe wäre, ein hohes positives Gewicht auf das Zeitsegment zu legen, das die Intensitätsspitze enthält, sowie den übrigen Segmenten Gewichte von 0 oder negative Gewichte zuzuweisen. Interessant ist insbesondere, ob es Versuchspersonen gelingt, Einzelsegmente auch im Falle einer Segmentdauer von nur 20 ms zeitlich präzise selektiv zu gewichten, obgleich der Pegelverlauf bei einer so raschen Fluktuation nicht mehr bewusst zu verfolgen ist.

1.4.3 Experiment 3 - Unterscheidung von zeitlichen Lautheitsmustern nach ihrer Form

Experiment 3³ erhöht die Anforderungen an das auditive System weiter. Es befasst sich mit der Frage, ob das Gehör auch in der Lage ist, Lautheitsmuster allein nach ihrer *Form* zu unterscheiden, d.h. ein Lautheitsprofil mit einer Intensitätsspitze am Anfang (2. von zehn Segmenten) von einem solchen mit einer Intensitätsspitze am Ende (9. von zehn Segmenten) zu unterscheiden. Die Aufgabe in Experiment 3 wird durch zwei weitere Faktoren erschwert: Zum einen werden noch kürzere Segmentdauern (10 ms) untersucht, zum anderen wird nun ein IIFC-Verfahren verwendet. Damit können die Lautheitsmuster nicht mehr direkt miteinander verglichen werden, sondern sie müssen in jedem Durchgang einzeln nach ihrer Form beurteilt werden. Mittels der COSS-Analyse (Berg, 1989) und der logistischen Regression werden Gewichte geschätzt als Maß für den Einfluss, den einzelne Reizkomponenten auf die Entscheidung einer Versuchsperson haben. Wird es Versuchspersonen auch unter diesen Bedingungen gelingen, einzelne Zeitsegmente unabhängig und selektiv zu gewichten? In dieser Aufgabe wäre es optimal, den beiden Segmenten, die die Intensitätsspitze enthalten können, jeweils hohe absolute Gewichte zuzuweisen, aber mit entgegengesetztem Vor-

³Teile der Ergebnisse aus Experiment 3 wurden beim *Joint CFA/DAGA 2004 Congress* in Strasbourg, Frankreich, vorgestellt und sind im zugehörigen Tagungsband enthalten (vgl. Plank & Ellermeier, 2004a).

zeichen. Die übrigen Segmente sollten Gewichte nahe 0 erhalten.

1.4.4 Experiment 4 - Der Einfluss der zeitlichen Position der Intensitätsspitze auf die Unterscheidbarkeit von Lautheitsprofilen

Experiment 4 beschäftigt sich anschließend mit der Frage, welchen Effekt die zeitliche Position einer Intensitätsspitze im Lautheitsprofil auf die Unterscheidungsleistung von Versuchspersonen hat. Hierzu wird der Versuchsaufbau von Experiment 2 repliziert, mit dem Unterschied, dass nun die Position der Intensitätsspitze systematisch zwischen allen zehn Zeitsegmenten variiert wird. Die Ergebnisse werden hinsichtlich Unterschieden in der Unterscheidungsleistung der Versuchspersonen in Abhängigkeit der Inkrementposition analysiert. Sind Inkremente am Beginn oder Ende eines Reizes leichter zu entdecken als auf mittleren Zeitsegmenten? Weiterhin interessiert, ob es Versuchspersonen in diesem Experiment gelingt, ihre Gewichtungsstrategien flexibel zu wechseln und jeweils die Position im Reiz mit einem hohen positiven Gewicht zu belegen, die in dem gerade dargebotenen Block die Intensitätsspitze enthält.

1.4.5 Experiment 5 - Der Einfluss der Segmentanzahl auf die Unterscheidbarkeit von Lautheitsprofilen

Experiment 5⁴ beschäftigt sich schließlich mit der Frage, welche Rolle die Segmentanzahl bei der Unterscheidung von Lautheitsprofilen spielt. Können Versuchspersonen vom Vergleich der Inkrementkomponente mit zusätzlichen Reizkomponenten profitieren oder behindern diese eher die Unterscheidungsfähigkeit? In einem Paradigma mit den Randbedingungen von Experiment 2 wird hier nun die Segmentanzahl in fünf Bedingungen (3, 5, 7, 9 und 11) variiert. Das Inkrement befindet sich in jeweils mittleren Zeitsegment. Mittels eines adaptiven Verfahrens wird die 70.1 %-Unterschiedsschwelle ermittelt. Die Schwellen aus den fünf Bedingungen werden verglichen. Wenn Versuchspersonen eine zunehmende Anzahl von Segmenten als zusätzliche Vergleichsmöglichkeiten zwischen Inkrementkomponente und Kontext-

⁴Teile der Ergebnisse aus Experiment 5 wurden beim *Fechner Day 2004. 20th annual meeting of the International Society for Psychophysics* in Coimbra, Portugal, vorgestellt und sind im zugehörigen Tagungsband enthalten (vgl. Plank & Ellermeier, 2004b).

komponenten nutzen können, dann sollte die Unterschiedsschwelle mit zunehmender Segmentanzahl sinken. Behindert demgegenüber eine zunehmende Anzahl von Kontextkomponenten die Entdeckung der Intensitätsspitze, weil sie z.B. als irrelevante Pegelinformation von der Inkrementposition ablenken, so sollte die Unterschiedsschwelle mit zunehmender Segmentanzahl ansteigen. Gewichtsfunktionen, die den Anteil jedes Segments an der Entscheidung einer Versuchsperson wiedergeben, können hier Hinweise darauf liefern, wie gut Versuchspersonen Kontextkomponenten als Vergleichsmöglichkeiten nutzen können (bei negativen Gewichten), oder die irrelevante Information gegebenenfalls ignorieren können (bei Gewichten von 0).

Als Gesamtergebnis der fünf Experimente sind Aufschlüsse über die Mechanismen zu erwarten, die der Verarbeitung schneller Lautheitsänderungen im Millisekundenbereich zugrunde liegen.

Kapitel 2

Experiment 1

2.1 Zeitliche Lautheitsintegration diskreter Schallereignisse

Wie die Lautheit eines komplexen Schalles wahrgenommen wird, bestimmen mehrere Faktoren. Das auditive System muss dabei Informationen aus verschiedenen Kanälen integrieren: zum einen die Pegelinformation aus den beiden Ohren, zum anderen die Information aus verschiedenen Frequenzkanälen, sowie die Information über die Zeit. Es wird jeweils von binauraler, spektraler und zeitlicher Integration gesprochen. Experiment 1 untersucht die Fragestellung, wie die Lautheit von Schallen integriert wird, die aus diskreten Schallimpulsen bestehen und über die Zeit im Pegel zufällig schwanken.

2.1.1 Integration von Lautheit über die Zeit

Bei der Integration der Lautheit über die Zeit lassen sich die Fälle stationärer Schalle und nicht-stationärer Schalle unterscheiden. Der Fall stationärer Schalle, d.h. solcher, die sich über die Zeit im Pegel nicht verändern, wurde in der Literatur ausführlich behandelt (Moore, 1997). Von solchen Schallen weiß man, wie bereits in Kapitel 1 angesprochen, dass die Dauer eines Reizes seine wahrgenommene Lautheit bis zu einer Dauer von etwa 200 ms beeinflusst. Erst ab etwa 200 ms Reizdauer bildet sich ein stabiler Lautheitseindruck, zuvor nimmt die wahrgenommene Lautheit kontinuierlich zu, bei gleichbleibendem physikalischem Schalldruckpegel.

Ein noch relativ wenig untersuchter Bereich ist die Lautheitsintegration von nicht-stationären Schallen, also solchen, die über die Zeit im Pegel fluktuieren. Diese Schalle sind jedoch unserer natürlichen Hörumwelt am nächsten.

Verschiedene experimentelle Befunde sprechen dafür, dass die zeitliche Struktur des Pegelverlaufs die wahrgenommene Lautheit eines Schalles beeinflusst. So fanden Stecker & Hafter (2000) einen Einfluss der zeitlichen Asymmetrie von Reizen auf ihre wahrgenommene Lautheit. Sie benutzten Einhüllende mit zwei Charakteristiken, schnellem Anstieg und langsamem Abfall vs. langsamem Anstieg und schnellem Abfall. Für Sinustöne und Breitbandrauschen mit einer Dauer von jeweils 250 ms beobachteten sie, dass die Reize mit langsamem Anstieg und schnellem Abfall der Amplitude als lauter bewertet wurden als die Reize mit umgekehrtem Muster bei gleicher Gesamtenergie. Susini & McAdams (2004) präsentierten ihren Probanden ansteigende und abfallende Pegelrampen mit identischer Dauer und fanden einen ähnlichen Effekt der Asymmetrie wie Stecker & Hafter (2000). Sie erklärten dies mit einem Gedächtniseffekt ("recency effect").

Namba et al. (1976) versahen 350 ms bzw. 700 ms lange Exemplare von weißem Rauschen mit konstantem Pegel mit Inkrementen von 3 dB oder 6 dB auf jeweils einer von 7 zeitlichen Positionen (Dauer 50 ms bzw. 100 ms). Versuchspersonen sollten jeweils einen Vergleichsreiz stationären Rauschens so einstellen, dass er dieselbe Lautheit wie der Reiz mit Inkrement hatte. Hierbei wurde die Lautheit von Reizen mit einem Inkrement am Anfang oder Ende tendenziell überschätzt, während die Lautheit von Reizen mit einem Inkrement in Mittelpositionen tendenziell unterschätzt wurde. Hier zeigte sich also ein "Primacy Effect" und ein "Recency Effect".

Fastl (1987) und Susini et al. (2002) untersuchten die wahrgenommene Lautheit von Schallen, die sich über mehrere Sekunden in ihrer Lautheit regelmäßig veränderten. Fastl (1987) konnte zeigen, dass Schalle, die im Pegel kontinuierlich anstiegen, als lauter empfunden wurden als Schalle, deren Pegel kontinuierlich abnahm, obgleich die akustische Energie gleich war. Dieses Muster ist vergleichbar mit den Ergebnissen von Stecker & Hafter (2000) und Susini & McAdams (2004). Susini et al. (2002) untersuchten die Lautheit von drei zeitlichen Profilen eines 1-kHz-Tones: über (1) bis zu 20 Sekunden im Pegel aufsteigende Rampen, (2) bis zu 40 Sekunden im Pegel auf- und wieder absteigende Rampen und (3) einen bis zu 60 Sekunden langen Verlauf mit

drei etwa 5 Sekunden langen Pegelspitzen, regelmäßig über die Gesamtdauer verteilt. Es zeigte sich auch hier, dass die Lautheit nicht unabhängig vom zeitlichen Verlaufsmuster der Pegel war. Insbesondere zeigte sich wieder ein “Recency-Effekt“: Reize wurden als umso lauter bewertet, je später eine hohe Pegelspitze positioniert war. Zur Untersuchung der Lautheitsintegration bei unregelmäßig schwankenden Pegelverläufen wurden in der Regel mehrminütige Schalle wie Musikstücke oder Verkehrslärm verwendet (z.B. Kuwano & Namba, 1985; Kuwano, 1996; Fastl, 1991; Weber, 1993). In diesen Experimenten sollten Versuchspersonen in bestimmten Zeitabständen die momentane Lautheit sowie die Gesamtlautheit mit verschiedenen Methoden (Einstellen von Schiebereglern, Linienlängen, etc.) einschätzen. Dabei ergab sich, dass einzelne hohe Pegel im Reiz die Wahrnehmung der Gesamtlautheit offensichtlich stärker beeinflussten als niedrige Pegel.

Interessiert man sich, wie in der vorliegenden Arbeit, dafür, wie die Lautheit von viel kürzeren Schallen integriert wird, die unregelmäßig im Pegel fluktuieren, und welche Rolle dabei einzelne zeitliche Komponenten spielen, so ist es nicht mehr möglich, von Versuchspersonen momentane Lautheitseindrücke zu verschiedenen Zeitpunkten eines dargebotenen Reizes abzufragen. Hierzu benötigt man Methoden, die von den Teilnehmern nur ein globales Lautheitsurteil abverlangen und es dennoch erlauben, die Daten dahingehend zu analysieren, welchen Einfluss einzelne Zeitabschnitte eines kurzen Reizes auf das Gesamturteil einer Versuchsperson hatten. Dies ermöglichen die COSS-Analyse (Berg, 1989) und die logistische Regression, die noch näher zu beschreiben sein werden (siehe Abschnitt 2.3.2).

Sie bieten gegenüber herkömmlichen Methoden der direkten Skalierung (siehe oben) einige Vorteile:

- Da nur ein globales Urteil über die Gesamtlautheit eines Reizes verlangt wird, ist das Verfahren weniger durchsichtig für die Versuchsperson. Muss wie bei früheren Untersuchungen zu mehreren Zeitpunkten ein instantaner Lautheitseindruck abgegeben werden, so ist das Ergebnis anfällig für Urteilsartefakte durch die Tendenz, eine Antwort an früher gegebene anzupassen.
- Im Gegensatz zur Verwendung natürlicher Pegelverläufe ist es möglich, expe-

rimentelle Manipulationen einzuführen, die verhindern, dass die Pegelverläufe konfundiert sind mit anderen Attributen wie Tonhöhe und Klangfarbe.

- Es sind keine umstrittenen direkten Skalierungsmethoden nötig, da nur Paarvergleiche eingesetzt werden (zur Problematik direkter Skalierungsmethoden siehe z.B. Ellermeier & Faulhammer, 2000).
- Es ist möglich, damit in sehr kurze Zeitbereiche vorzudringen, die den direkten Methoden nicht zugänglich sind, und damit eine zeitliche Auflösung im Millisekundenbereich zu ermöglichen, der für die vorliegende Arbeit interessiert.

Mit Hilfe dieser Methoden ist es demnach möglich, “molekulare“ Psychophysik zu betreiben und die innere Struktur von Entscheidungsprozessen (implizite “Strategien“) der Versuchspersonen im Hinblick darauf zu entschlüsseln, welche *Teile* von Reizen für die globale Beurteilung dieser Reize eine größere oder kleinere Rolle gespielt haben. Auf diese Weise lassen sich auch individuelle Unterschiede in der Diskriminationsleistung besser erklären (Hirsh & Watson, 1996).

In einigen vorhergehenden Arbeiten (Ellermeier & Schrödl, 2000; Schrödl, 2001; Werner, 2002; Pedersen & Ellermeier, 2004; Oberfeld & Plank, 2005) wurde die Lautheitsintegration in Zeitbereichen von Millisekunden bis zu 1 Sekunde bei unregelmäßig im Pegel fluktuierenden Schallen untersucht. Die Reize waren jeweils Breitbandrauschen - und damit nicht konfundiert mit etwaigen Einflüssen der Tonhöhe auf die empfundene Lautheit. Mittels der COSS-Methode (Berg, 1989) oder der logistischen Regression konnten Gewichte für den Beitrag jeder einzelnen Zeitkomponente zum Lautheitsindruck des Gesamtreizes abgeleitet werden. Damit konnten Ellermeier & Schrödl (2000) und Schrödl (2001) für Schalle von 1000 ms Dauer, die in zehn Zeitsegmenten zufällig im Pegel fluktuierten, zeigen, dass der Anfang und das Ende des Reizes tendenziell höher gewichtet wurden als die mittleren Zeitsegmente. Das heißt, Reizanfang und Reizende trugen relativ gesehen mehr zur wahrgenommenen Gesamtlautheit eines Reizes bei. Für Schalle von 200 ms Gesamtdauer wiesen die Gewichtungsfunktionen einen flacheren Verlauf auf, der jedoch immer noch deutlich von einer Gleichgewichtung aller zehn Zeitsegmente abwich.

Bei Werner (2002) fand sich das gleiche “u-förmige“ Gewichtungsmuster bei einer Gesamtreizdauer von 1000 ms und unabhängig vom Inter-Stimulus-Intervall, das zwi-

schen 500 ms und 2000 ms variiert wurde. Pedersen & Ellermeier (2004) konnten ebenfalls für Reize von 1000 ms Gesamtdauer zeigen, dass Versuchspersonen ihre Gewichtungsstrategien individuell anpassen konnten, wenn Trial-by-Trial-Feedback gegeben wurde. In einer weiteren Untersuchung dieser Art (Oberfeld & Plank, 2005) wurden nicht-stationäre Schalle mit einem “Fade-In“ versehen, also langsam eingeblendet. Es zeigte sich hier ein verzögerter “Primacy-Effect“ mit höchsten Gewichten auf jeweils dem ersten Segment, bei dem der volle Pegel erreicht war.

2.1.2 Fragestellung für Experiment 1

Die Ergebnisse von Ellermeier & Schrödl (2000), sowie Schrödl (2001) haben gezeigt, dass sich je nach Gesamtdauer der Reize unterschiedliche Gewichtungsmuster ergeben. Waren die Reize nur 200 ms lang und bestanden aus zehn 20 ms-Segmenten, so wurden diese tendenziell gleichmäßiger gewichtet als lange Segmente von 100 ms Dauer bei einer Gesamtreizdauer von 1000 ms. Dieses Ergebnis eröffnet eine Reihe von Fragen im Hinblick auf das gewählte Thema der vorliegenden Arbeit, die Hinweise auf die Verarbeitung schneller Lautheitsveränderungen finden möchte. In der Experimentalbedingung mit Einzelkomponenten von 100 ms war der Pegelverlauf bewusst zu verfolgen und nachzuvollziehen. Dies war in der Bedingung mit 20 ms-Komponenten nicht mehr der Fall. Ist dies, also die Anwendbarkeit von “top-down-Prozessen“, die Voraussetzung dafür, dass Einzelkomponenten individuelle Gewichte zugewiesen werden? Sowohl die “Multiple looks“-Theorie (Viemeister & Wakefield, 1991), wie auch die Theorie eines “sliding temporal window of integration“, wie es z.B. Näätänen (1990) postuliert, würden dies verneinen. Denn selbst wenn akustische Energie über einen bestimmten Zeitraum von 150-200 ms zu einem Ereignis gruppiert wird, schließt das nicht aus, dass Veränderungen *innerhalb* dieses Fensters entdeckt, verarbeitet und je nach Aufgabenstellung genutzt werden können. Somit müsste auch die Pegelinformation in Segmenten von nur 20 ms Dauer unabhängig von der Information in den übrigen Segmenten genutzt werden können. Dass dies im Experiment von Schrödl (2001) nicht der Fall war, könnte seinen Grund darin haben, dass die 20 ms-Segmente nicht (gut) als Einzelsegmente erkennbar waren, da sie ohne Unterbrechung aneinander gereiht waren. Der schwankende Pegelverlauf ließ sich nicht bewusst verfolgen, und der so entstandene Höreindruck eines

“Gesamtrauschens“ verhinderte womöglich, dass Einzelsegmente bei der Integration der Lautheit unabhängige Gewichte zugewiesen bekamen.

Experiment 1 versucht nun zunächst, die Frage genauer zu klären, ob Einzelsegmente von 20 ms Dauer bei der Integration ihrer Lautheit über die Zeit unabhängig voneinander gewichtet werden, wenn sie gut als Einzelsegmente erkennbar sind, und welche Rolle dabei die Verteilung der Einzelsegmente über die Zeit spielt. Es werden Folgen von Breitbandrauschen dargeboten, bestehend jeweils aus zehn Rauschimpulsen von 20 ms, getrennt durch Pausen, die in drei Bedingungen variieren (5, 40 und 100 ms). Damit wird die akustische Energie konstant gehalten und nur die zeitliche Verteilung der zehn Zeitsegmente variiert. Es sollen anschließend Gewichte berechnet werden, die wie auch bei Ellermeier & Schrödl (2000) und Schrödl (2001) den Einfluss jedes Zeitsegments auf die Beurteilung der Gesamtlautheit einer solchen Rauschimpulsfolge angeben sollen.

Für die zu erwartenden Gewichtungsfunktionen kann von folgenden Hypothesen ausgegangen werden:

1. Ist das Gewichtungsmuster in erster Linie von der zeitlichen Verteilung der Einzelkomponenten abhängig und nicht von der dargebotenen akustischen Energie, so müsste sich analog zu vorherigen Experimenten eine Gewichtung zeigen, die umso mehr von einer Gleichgewichtung aller Segmente abweicht, je größer die Pausen zwischen den Segmenten werden.
2. Werden die zehn Rauschimpulse immer als zehn Einzelereignisse gewertet, also unabhängig von ihrer zeitlichen Verteilung, so dürfte sich kein erkennbarer Unterschied in den Gewichtsmustern ergeben, die für die drei zeitlichen Verteilungen resultieren. Vermutet würde dann z.B. für alle drei Experimentalbedingungen ein “u-förmiger“ Verlauf der Gewichtsfunktionen, der - im Gegensatz zu Schrödl (2001) - auch deshalb bei kurzen Pausen von 5 ms resultieren sollte, weil hier die Einzelsegmente immer noch deutlich voneinander abgesetzt sind und als Einzelimpulse erkennbar sind.

In diesem Fall ist zu vermuten, dass in der Experimentalbedingung mit 20 ms-Segmenten bei Schrödl (2001) nur deshalb flachere Gewichte resultierten, weil

die Segmente ohne Pause aneinander gereiht waren und so nicht als Einzelereignisse erkennbar waren.

2.2 Methode

2.2.1 Versuchspersonen

An Experiment 1 nahmen acht Versuchspersonen zwischen 19 und 31 Jahren teil. Das Durchschnittsalter betrug 24,5 Jahre, der Median des Alters 22,5 Jahre. Zwei der Teilnehmer waren männlich, sechs weiblich. Alle Versuchspersonen waren Psychologie-Studenten der Universität Regensburg im Grundstudium. Sie erhielten für ihre Teilnahme Versuchspersonenstunden gutgeschrieben, deren Ableistung in der Prüfungsordnung vorgeschrieben ist. Alle Teilnehmer waren Normalhörer. Ein Hörtest mittels eines Screening-Audiometers (MADSEN ELECTRONICS MICROMATE 304D) ergab für alle Versuchspersonen Hörschwellen von 20 dB HL (‘‘hearing loss“; Hörverlust) oder besser für reine Töne von 250 bis 8000 Hz. Mit Ausnahme einer Teilnehmerin (BA) hatten alle Versuchspersonen keine Vorerfahrungen mit dieser Art von psychoakustischen Experimenten. BA hatte zum Zeitpunkt der Datenerhebung bereits zuvor an Experiment 5 teilgenommen.

2.2.2 Versuchsanordnung

2.2.2.1 Apparatur

Das Experiment wurde im Akustiklabor des Instituts für Experimentelle Psychologie an der Universität Regensburg durchgeführt. Das Labor ist zur Reizgenerierung und Reizsteuerung mit einem PC (Acer Frame 300) und einem Tucker Davis Technologies (TDT) System II (bestehend aus einer Signalprozessorkarte und externen D/A-Wandlern, Abschwächern und Filtern) ausgestattet. In einem angrenzenden Raum befindet sich eine schallisolierte, doppelwandige Kammer. Dort werden die Reize dargeboten und die gegebenen Antworten zum Rechner im Steuerraum geleitet.

Mittels einer Signalprozessorkarte (TDT AP2) wurde zunächst weißes Rauschen generiert und über einen 16-bit Digital-Analog-Wandler (TDT DD1) mit 50-kHz Samplingrate ausgegeben. Anschließend wurde das Signal tiefpassgefiltert bei 10 kHz (TDT FT5) und durch einen programmierbaren Abschwächer (TDT PA4) stufenförmig mit 1/10 dB Genauigkeit in seiner Intensität verändert. Den Zeitverlauf kontrollierte dabei

eine Programmfunktion, die Millisekunden-Präzision zulässt. Über einen Headphone-Buffer (TDT HB6, Output Gain -20 dB) wurden die Reize weitergeleitet und den Versuchspersonen diotisch über Kopfhörer (Sony MDR-CD370) dargeboten. Die Versuchspersonen saßen während des Experiments in der schallisolierten, doppelwandigen Akustikkammer im angrenzenden Raum. Sie konnten ihre Urteile durch Drücken von Tasten abgeben, die links und rechts an den Armlehnen ihres Sessels befestigt waren. Vor den Versuchspersonen befand sich ein Aufbau mit vier Leuchtdioden, zwei roten und zwei gelben, mit Hilfe derer das Abspielen der Reize angezeigt bzw. den Probanden Rückmeldung über die Richtigkeit ihrer Antworten gegeben wurde. Die Reaktionen wurden zurück zum Rechner im Steuerraum geleitet, von dem sie aufgezeichnet wurden. Abbildung 2.1 gibt den Versuchsaufbau schematisch wieder.

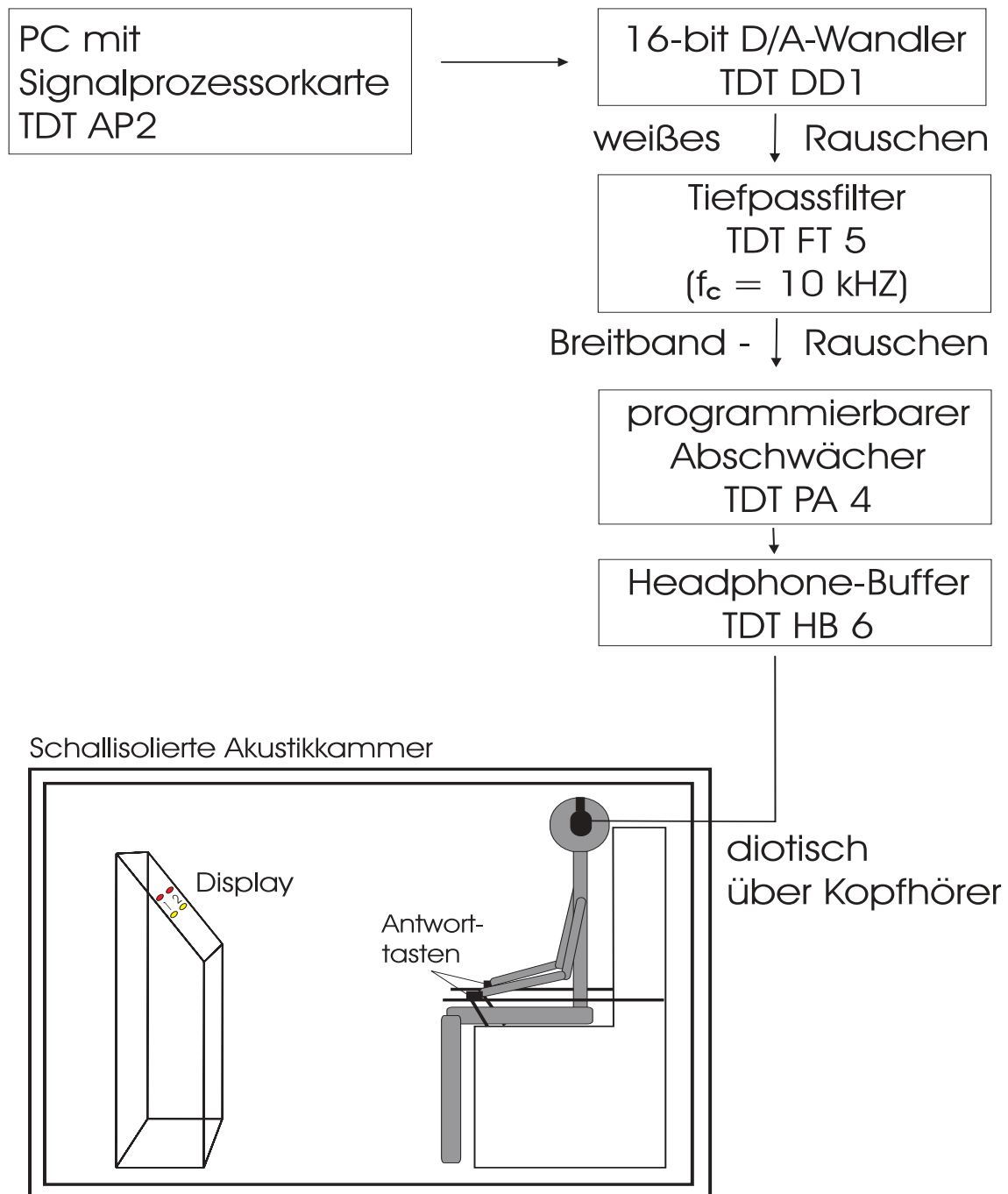


Abbildung 2.1: Darstellung des Versuchsaufbaus für Experiment 1. Weißes Rauschen wurde erzeugt mit Hilfe einer Signalprozessorkarte, in ein analoges Signal umgewandelt, tiefpassgefiltert und mittels eines programmierbaren Abschwächers stufenweise in seiner Intensität verändert. Anschließend wurde das Signal der in der schallisolierten Kammer sitzenden Versuchsperson diotisch über Kopfhörer dargeboten.

2.2.2.2 Reizmaterial

Jeder Reiz bestand aus zehn zeitlichen Segmenten mit einer Dauer von jeweils 20 ms, unterbrochen von neun Pausen, deren Dauer in drei Versuchsbedingungen (5 ms, 40 ms, 100 ms) variierte. Die Gesamtdauer jedes Reizes betrug in den drei Bedingungen entsprechend 245 ms, 560 ms bzw. 1100 ms. Jedes einzelne Zeitsegment war mit einer auf- und absteigenden Rampe von 1 ms Dauer versehen. Die Genauigkeit der beschriebenen zeitlichen Abfolge der Reizbestandteile wurde durch Messung mit einem Oszilloskop geprüft und sichergestellt. Die Pegel der zehn Zeitsegmente eines Reizes schwankten zufällig und unabhängig nach einer Zufallsverteilung. Hinsichtlich der Beschaffenheit der Zufallsverteilungen wurden zwei Arten von Reizen unterschieden, die in Einklang mit der Signalentdeckungstheorie (Green & Swets, 1966) als “Signal” und “Noise” bezeichnet wurden. Die zehn Pegel des “Signal“-Reizes wurden jeweils unabhängig voneinander aus einer Normalverteilung mit einem Mittelwert von $\mu = 61$ dB SPL und einer Standardabweichung von $\sigma = 2$ dB gezogen. Die zehn Pegel des “Noise“-Reizes wurden aus einer Normalverteilung mit einem Mittelwert von $\mu = 60$ dB SPL und einer Standardabweichung von $\sigma = 2$ dB gezogen. “Noise“- und “Signal“-Reiz unterschieden sich also nur im Mittelwert der zugrundeliegenden Normalverteilung, der beim “Signal“-Reiz um 1 dB höher war. Abbildung 2.2 zeigt eine schematische Darstellung der beiden Reizarten.

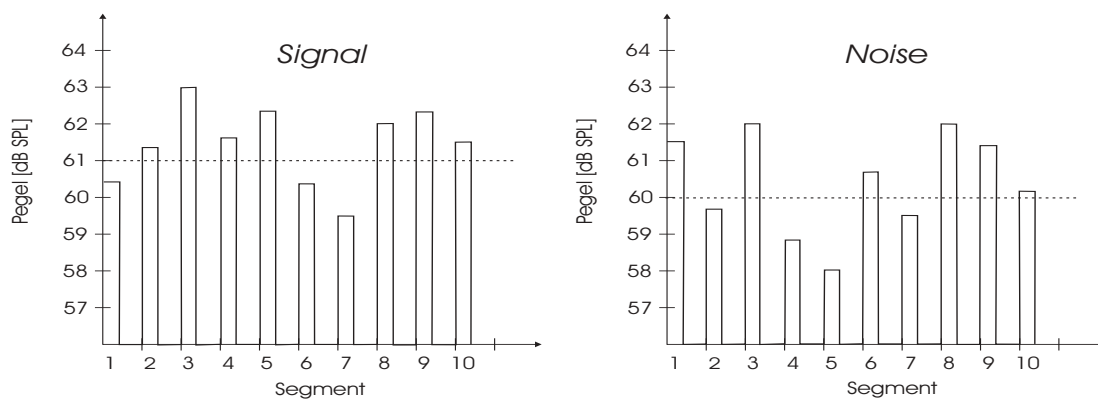


Abbildung 2.2: Schematische Darstellung der Reize in Experiment 1. Pegel von zehn 20-ms-Segmenten von Breitbandrauschen werden unabhängig voneinander aus einer Zufallsverteilung gezogen, unterbrochen von neun Pausen, deren Dauer in drei Bedingungen (5 ms, 40 ms, 100 ms) variiert. Die Zufallsverteilung des “Signal“-Reizes (links) hatte jeweils einen um 1 dB höheren Mittelwert als die Zufallsverteilung des “Noise“-Reizes (rechts).

2.2.3 Versuchsaufbau

2.2.3.1 Struktur eines Durchgangs

Das generierte Breitbandrauschen wurde in einem Two-Interval-Forced-Choice-Verfahren (2IFC) dargeboten. In jedem Durchgang wurde ein “Signal“- und ein “Noise“-Reiz präsentiert, unterbrochen von einem Inter-Stimulus-Intervall (ISI) von 1000 ms. Das Abspielen eines jeden Reizes wurde der Versuchsperson durch das Aufleuchten einer roten Leuchtdiode angezeigt. Die Reihenfolge, in der “Signal“- und “Noise“-Reize in jedem Durchgang dargeboten wurden, war zufällig. Die Versuchsperson musste jeweils entscheiden, welcher von beiden Reizen insgesamt lauter war. Ihre Antwort gab sie durch Drücken einer der beiden Tasten an den Armlehnen ihres Sessels. Nach 500 ms folgte das nächste Reizpaar. Nach jedem Reizpaar wurde auch Feedback gegeben. Das Aufleuchten einer gelben Leuchtdiode zeigte jeweils an, welches der beiden Beobachtungsintervalle tatsächlich den “Signal“-Reiz enthalten hatte.¹

2.2.3.2 Versuchsplan

Vor der eigentlichen Datenerhebung fand eine Sitzung statt, in der der Hörtest durchgeführt wurde und die Probanden mit Hilfe einiger Übungsblöcke mit der Aufgabe vertraut gemacht wurden. Die Instruktion erfolgte schriftlich (siehe Anhang A2, Seite 221). Den Probanden wurde außerdem die Gelegenheit gegeben, Fragen zum Versuchsaufbau zu stellen. Wenn sie angaben, dass ihnen die Aufgabenstellung klar war, absolvierte jede Versuchsperson sechs Übungsblöcke. Jeweils ein Übungsblock mit 20 Durchgängen in jeder der drei Bedingungen (Pausendauer 5 ms, 40 ms und 100 ms), präsentiert in zufälliger Reihenfolge, wies zwischen den beiden Pegelverteilungen einen Mittelwertsunterschied (Δs) von 2 dB auf und lag somit über dem Mittelwertsunterschied, der für die spätere Datenerhebung vorgesehen war. In drei weiteren Übungsblöcken mit je 80 Durchgängen in jeder Bedingung, ebenfalls in zufälliger Reihenfolge präsentiert, entsprach die Reizsituation mit $\Delta s = 1$ dB genau

¹Das Feedback zeigte jeweils an, welcher der beiden Reize aus der “Signal“-Verteilung gezogen worden war. Da die Pegel der einzelnen Zeitsegmente jeweils aus zwei Zufallsverteilungen gezogen wurden, die sich nur geringfügig unterschieden ($\Delta s = 1$ dB, $\sigma = 2$ dB), war es mit einer Wahrscheinlichkeit von ca. 13 % (siehe Berechnung im Anhang A1, Seite 218) möglich, dass der “Noise“-Reiz in einem Durchgang den höheren Durchschnittspegel aufwies.

derjenigen im späteren Verlauf des Experiments.

Während der eigentlichen Datenerhebung absolvierte jede Versuchsperson insgesamt 6720 Durchgänge, 2240 in jeder der drei Versuchsbedingungen (Pausendauer 5 ms, 40 ms und 100 ms). Die Reize wurden in Blöcken zu jeweils 40 Durchgängen dargeboten. Innerhalb eines Blocks wechselte die Bedingung nicht. Die Daten wurden in 14 Sitzungen erhoben. In jeder Sitzung absolvierten die Versuchspersonen 12 Blöcke, jeweils 4 Blöcke in jeder Bedingung, in zufälliger Reihenfolge. Zu Beginn jeder Sitzung wurden zusätzlich drei Übungsblöcke à 5 Durchgänge in jeder der drei Bedingungen in zufälliger Reihenfolge präsentiert, die nicht in die Datenauswertung mit eingingen. Eine Sitzung dauerte in etwa 45 Minuten. Nach 6 Blöcken folgte in der Regel eine kurze Pause. Tabelle 2.1 gibt einen Überblick über den Versuchsplan dieses Experiments.

Tabelle 2.1: Überblick über die Versuchsplanung für Experiment 1. Das Experiment war nach 15 Sitzungen abgeschlossen. Ab der zweiten Sitzung begann die Datenerhebung für das eigentliche Experiment mit jeweils 12 Experimentalblöcken (Exp.B) pro Sitzung. Übungsblöcke (ÜB) wurden in der ersten Sitzung, sowie zu Beginn jeder folgenden Sitzung absolviert.

	Art des Blocks	Anz. Durchgänge	$\mu_S - \mu_N$	σ
Sitzung 1	ÜB 1 bis 3	20	2 dB	2 dB
	ÜB 4 bis 6	80	1 dB	2 dB
Sitzung 2 bis 15	ÜB 1 bis 3	5	1 dB	2 dB
	Exp.B 1 bis 12	40	1 dB	2 dB

2.3 Ergebnisse

2.3.1 Antwortgüte

Die Antwortgüte kann zunächst darüber Aufschluss geben, inwiefern Unterschiede in der Schwierigkeit der Aufgabe in den drei Experimentalbedingungen gegeben waren. Die Aufgabenschwierigkeit kann beeinflusst werden durch die Wahl der Pegeldifferenz Δs der Mittelwerte der “Signal“- und “Noise“-Verteilung, sowie deren Standardabweichung σ . Um einen Vergleich der Ergebnisse aus dem vorliegenden Experiment mit den Ergebnissen von Schrödl (2001) zu erleichtern, wurden die in dieser Arbeit verwendeten Werte für $\Delta s = 1$ dB und $\sigma = 2$ dB übernommen. In Schrödl (2001) wurden diese Werte so gewählt, dass die Diskriminationsleistung bei 70 bis 75 % korrekter Antworten lag.²

Ferner können die Prozent-korrekt-Werte, gemessen über die absolvierten Blöcke hinweg und damit über die Zeit, Aufschluss über eventuelle Lerneffekte im Verlauf des Experiments geben.

Im vorliegenden Experiment lagen die durchschnittlichen Prozent-korrekt-Werte der acht Versuchspersonen pro Block mit 40 Durchgängen zwischen 62,46 und 79,06 Prozent korrekt für die Reizsegmente mit Pausen von 5 ms, zwischen 66,07 und 75,98 Prozent korrekt für die Reizsegmente mit Pausen von 40 ms und zwischen 62,68 und 71,79 Prozent korrekt für die Reizsegmente mit Pausen von 100 ms. Die Tabelle 2.2 zeigt die mittleren, minimalen und maximalen Prozent-korrekt-Werte pro Versuchsblock für jede Versuchsperson und Bedingung an. Die relativ große Streubreite bei den Prozent-korrekt-Werten der einzelnen Blöcke untereinander ist vermutlich auf die Tatsache zurückzuführen, dass die Reizpegel zufällig gezogen wurden und somit einzelne Blöcke durchaus “schwierigere“ Paarvergleiche enthalten konnten als andere. Bei einer Anzahl von nur 40 Durchgängen pro Block war die “Unterscheidbarkeit“ der

²Als “korrekte“ Antwort wurde gewertet, wenn die Versuchsperson denjenigen Reiz als lauter bewertete, der im jeweiligen Durchgang als “Signal“-Reiz generiert war. Da die Pegel von “Signal“- und “Noise“-Verteilung aus zwei Zufallsverteilungen gezogen wurden, die sich überlappen, war es mit einer Wahrscheinlichkeit von ca. 13 % (siehe Berechnung im Anhang A1, Seite 218) möglich, dass der Gesamtpegel des “Noise“-Reizes in einem Durchgang höher war als der Gesamtpegel des “Signal“-Reizes. In solchen Fällen hätte das Feedback nicht den Reiz mit dem höheren Gesamtpegel angezeigt. Im vorliegenden Experiment war dies in 6947 von 53760 Durchgängen der Fall. Das heißt, in tatsächlich 13 % der Fälle lag der mittlere Pegel des “Noise“-Reizes über dem des “Signal“-Reizes im selben Durchgang.

Reizpaare nicht immer “ausbalanciert“.

Tabelle 2.2: Prozentwerte korrekter Antworten (PK) pro Versuchsblock mit je 40 Durchgängen für alle acht Versuchspersonen in den drei Bedingungen (Pausen von 5, 40 und 100 ms)

Pausen 5 ms			
<i>Vp</i>	<i>mittlere PK</i>	<i>min. PK</i>	<i>max. PK</i>
BA	62,46	47,5	80
CA	75,45	57,5	87,5
CR	71,21	57,5	82,5
HA	70,85	55	82,5
JO	68,17	47,5	85
KA	67,68	55	85
LK	70,27	55	87,5
SB	79,06	62,5	95

Pausen 40 ms			
<i>Vp</i>	<i>mittlere PK</i>	<i>min. PK</i>	<i>max. PK</i>
BA	66,25	50	82,5
CA	74,15	57,5	90
CR	70,76	52,5	87,5
HA	67,41	50	87,5
JO	69,96	50	82,5
KA	66,07	50	82,5
LK	67,37	45	82,5
SB	75,98	55	90

Pausen 100 ms			
<i>Vp</i>	<i>mittlere PK</i>	<i>min. PK</i>	<i>max. PK</i>
BA	66,92	47,5	82,5
CA	71,79	57,5	87,5
CR	64,38	42,5	80
HA	66,83	47,5	80
JO	68,26	42,5	82,5
KA	62,68	47,5	77,5
LK	67,41	47,5	82,5
SB	70,89	52,5	87,5

Die Abbildungen 2.3 zeigen die Entwicklung der Prozent-korrekt-Werte in den absolvierten Blöcken über die Zeit für alle acht Versuchspersonen. Die gestrichelte Linie ist der jeweilige Durchschnittswert über alle acht Versuchspersonen und alle Blöcke.

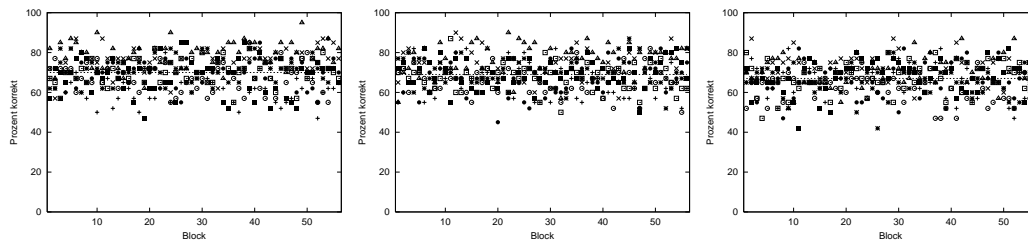


Abbildung 2.3: Prozentwerte korrekter Antworten über die Zeit für alle acht Versuchspersonen für die Bedingungen Pausen 5 ms (links), Pausen 40 ms (Mitte) und Pausen 100 ms (rechts). Jedes Symbol steht für eine Versuchsperson. Die gestrichelte Linie zeigt den jeweiligen Durchschnittswert über alle acht Versuchspersonen und alle Blöcke.

In Abbildung 2.4 sind die Prozent-korrekt-Werte über alle Versuchspersonen, aber nicht über die Zeit gemittelt. Sie zeigt also die Entwicklung der durchschnittlichen Diskriminationsleistung über die 56 Blöcke. In beiden Abbildungen zeigt sich kein Trend, der auf eventuelle Übungseffekte oder einen Motivationsverlust im Laufe des Experimentes hindeuten könnte.

In Tabelle 2.3 werden noch einmal direkt die Prozent-korrekt-Werte der Probanden in jeder Pausenbedingung gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass die Aufgabe für die meisten Probanden (Vp CA, CR, HA, KA, SB) mit zunehmender Pausenlänge schwieriger wurde.

Tabelle 2.3: Durchschnittliche Prozent-korrekt-Werte für alle acht Versuchspersonen in den drei Bedingungen "Pausen von 5 ms, 40 ms und 100 ms".

Durchschnittliche "Prozent korrekt"			
Vp	5 ms	40 ms	100 ms
BA	62,46	66,25	66,92
CA	75,45	74,15	71,79
CR	71,21	70,76	64,38
HA	70,85	67,41	66,83
JO	68,17	69,96	68,26
KA	67,68	66,07	62,68
LK	70,27	67,37	67,41
SB	79,06	75,98	70,89

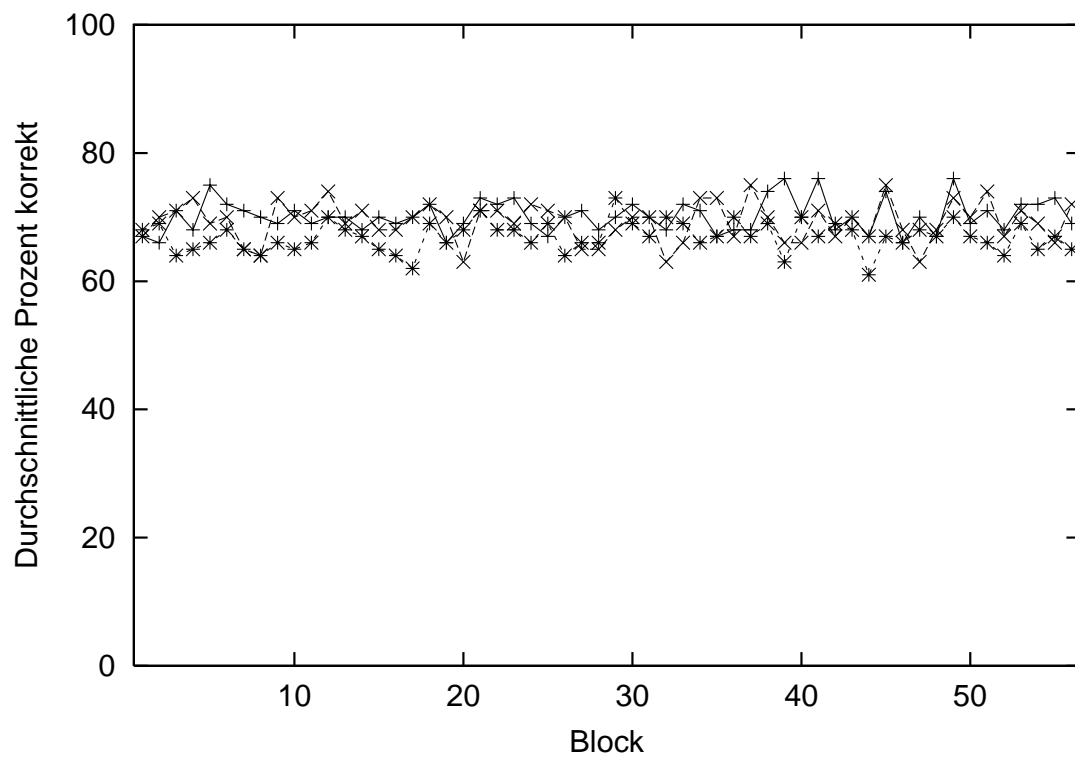


Abbildung 2.4: Entwicklung der über alle Versuchspersonen gemittelten Prozent-korrekt-Werte über die erhobenen 56 Blöcke und damit über die Zeit. Die durchgehende Linie steht für Pausen von 5 ms, die gestrichelte Linie für Pausen von 40 ms, die Sterne für Pausen von 100 ms.

2.3.2 Gewichtsschätzung

Im Folgenden soll untersucht werden, wie die einzelnen zeitlichen Komponenten der dargebotenen Rauschen das Lautheitsurteil der Teilnehmer beeinflusst haben. Hierzu benötigt man Verfahren, die es erlauben, aus den *globalen* Antworten der Versuchspersonen (z.B. “Intervall 1 war lauter“) Gewichte für den *relativen* Beitrag jedes einzelnen Zeitsegments zu schätzen. Dies leisten die COSS-Analyse (Abschnitt 2.3.2.1 auf Seite 46) und die logistische Regression. (Abschnitt 2.3.2.2 auf Seite 64).

2.3.2.1 COSS-Analyse

Theoretischer Hintergrund Die COSS-Analyse wurde von Berg (1989) entwickelt und bei einer Reihe von wahrnehmungspsychologischen Aufgabenmustern angewendet (z.B. Berg & Green, 1990; Sadralodabai et al., 1993; Southworth & Berg, 1995). Die Abkürzung COSS steht für *CO*nditional on a *Si*ngle *S*timulus. Diese Methode erlaubt die Analyse von *globalen* Versuchspersonenurteilen hinsichtlich des *relativen* Beitrags, den einzelne Reizkomponenten dazu geleistet haben. Im vorliegenden Experiment betrifft dies den Einfluss zeitlicher Reizsegmente, die im Pegel fluktuieren, auf das globale Lautheitsurteil.

Möglich gemacht wird diese Analyse durch einen methodischen Kunstgriff, wodurch alle Reizkomponenten (x_i) unabhängig voneinander mit einer zufälligen “Perturbation“ versehen werden. Die daraus zusammengesetzten “verrauschten“ Reize werden dann Versuchspersonen dargeboten, die ein Gesamturteil darüber abgeben sollen, im vorliegenden Experiment ein Urteil über die Gesamtlautheit dieses Reizes. Gewichte a_i sollen nun den relativen Einfluss jedes Zeitsegments x_i auf die wahrgenommene Gesamtlautheit wiedergeben. Damit lässt sich die Wahrnehmung eines Gesamtreizes mathematisch beschreiben als gewichtete Summe $\sum a_i x_i$.

Die ursprüngliche Methode von Berg (1989) war auf eine “Ja-Nein-Aufgabe“ (1IFC) abgestimmt. In diesem Paradigma wurde die Annahme getroffen, dass ein Beobachter sich dann für die Antwort “Ja“ entscheidet, wenn die gewichtete Summe ein bestimmtes gesetztes Kriterium C überschreitet:

$$\sum_{i=1}^n a_i x_i > C \quad (2.1)$$

Um die COSS-Analyse auf die vorliegende Two-Interval-Forced-Choice-Aufgabe anwenden zu können, muss sie entsprechend angepasst werden. In Berg & Green (1990) wurde dies für eine Aufgabe der spektralen Profilanalyse geleistet. Für den Zweck einer Aufgabe zur zeitlichen Lautheitsintegration ist die Anpassung der Methode bereits in den Arbeiten von Schrödl (2001) und Werner (2002) geschehen, weswegen die folgende Darstellung dieser Adaptation der COSS-Methode folgt.

In der Two-Interval-Forced-Choice-Aufgabe wird sich eine Versuchsperson dann für die Antwort “Intervall 1 war lauter“ entscheiden, wenn folgende Beziehung gilt:

$$\sum_{i=1}^n a_i x_{1i} > \sum_{i=1}^n a_i x_{2i} \quad (2.2)$$

Die Variablen x_{1i} und x_{2i} stehen hierbei für die jeweiligen Pegel in Intervall 1 bzw. 2 im Segment i . In der vorliegenden Aufgabe waren die Reize aus zehn Segmenten zusammengesetzt ($n = 10$) und die Pegel der Segmente x_i waren unabhängig aus zwei Verteilungen gezogen, die in Anlehnung an die Signalentdeckungstheorie (z.B. Green & Swets, 1966) als “Signal“ und “Noise“ bezeichnet wurden: $X_{Signal} \sim N(\mu_S; \sigma^2)$ und $X_{Noise} \sim N(\mu_N; \sigma^2)$, mit $\mu_S = \mu_N + \Delta s$. Die Komponenten x_{1i} beschreiben deshalb die Pegelstufen der Komponenten $i = 1..10$ im Intervall 1, die Komponenten x_{2i} die Pegelstufen der Komponenten $i = 1..10$ im Intervall 2. Mit a_i wird das Gewicht bezeichnet, das ein Beobachter der jeweiligen i -ten Komponente zuweist. Er wird sich also nach diesem Modell dann für die Antwort “Intervall 1 war lauter“ entscheiden, wenn sich die gewichtete Summe aus den Pegelstufen in Intervall 1 als größer erweist als die gewichtete Summe aus den Pegelstufen in Intervall 2.

Ziel der COSS-Analyse ist die Konstruktion psychometrischer Funktionen für jede Reizkomponente i , aus denen dann die Gewichte a_i geschätzt werden können. Um dies zu ermöglichen, werden als psychometrische Funktionen in einer 2IFC-Aufgabe die Häufigkeiten der “Intervall 1 war lauter“- Antworten in Abhängigkeit von der Pegeldifferenz zwischen Intervall 1 und Intervall 2 ($x_{1i} - x_{2i}$) im jeweiligen Segment i wiedergegeben. Hierfür muss zunächst die Ungleichung (2.2) so umgeformt werden, dass die Komponente ($x_{1i} - x_{2i}$) auf der linken Seite isoliert wird.

Für die Fälle $a_i > 0$ und $a_i < 0$ ergeben sich die folgenden beiden Gleichungen:

Für $a_i > 0$:

$$x_{1i} - x_{2i} > \frac{\sum_{j \neq i}^{10} a_j (x_{2j} - x_{1j})}{a_i} \quad (2.3)$$

Für $a_i < 0$:

$$x_{1i} - x_{2i} < \frac{\sum_{j \neq i}^{10} a_j (x_{2j} - x_{1j})}{a_i} \quad (2.4)$$

Zur Vereinfachung wird die neue Zufallsvariable Y_i eingeführt, die der rechten Seite der Ungleichungen (2.3) und (2.4) gleichgesetzt wird:

$$Y_i := \frac{\sum_{j \neq i}^{10} a_j (x_{2j} - x_{1j})}{a_i} \quad (2.5)$$

Da Y_i eine Summe unabhängiger und normalverteilter Zufallsvariablen ist, ist auch Y_i normalverteilt mit

$$E(Y_i) = \frac{\sum_{j \neq i}^{10} a_j E(x_{2j} - x_{1j})}{a_i} \quad (2.6)$$

und

$$Var(Y_i) = 2 \left[\frac{\sum_{j \neq i}^{10} a_j^2 \sigma^2}{a_i^2} \right] \quad (2.7)$$

Die Varianz ist in den beiden Fällen “Signal in Intervall 1“ und “Signal in Intervall 2“ gleich, beim Erwartungswert $E(Y_i)$ muss jedoch zwischen diesen beiden Fällen unterschieden werden, denn der Erwartungswert $E(x_{2i} - x_{1i})$ nimmt jeweils unterschiedliche Werte an.

Es gilt für den Fall “Signal in Intervall 1“:

$$E(x_{2i} - x_{1i}) = \mu_N - \mu_S = -\Delta s \quad (2.8)$$

Und für den Fall “Signal in Intervall 2“:

$$E(x_{2i} - x_{1i}) = \mu_S - \mu_N = \Delta s \quad (2.9)$$

Δs bezeichnet hier die Differenz zwischen den Mittelwerten der beiden Normalverteilungen für “Signal“-Reize und “Noise“-Reize. In diesem Fall hier ist $\Delta s = 61 \text{ dB} - 60 \text{ dB} = 1 \text{ dB}$.

Der Erwartungswert $E(Y_i)$ kann deshalb für die beiden Fälle “Signal in Intervall 1“ und “Signal in Intervall 2“ geschrieben werden als:

$$E(Y_i | S \text{ in } 1) = -\Delta s \left[\frac{\sum_{j \neq i}^{10} a_j}{a_i} \right] \quad (2.10)$$

bzw. als:

$$E(Y_i | S \text{ in } 2) = \Delta s \left[\frac{\sum_{j \neq i}^{10} a_j}{a_i} \right] \quad (2.11)$$

Ziel dieses Vorgehens ist, die Gewichte a_i aus den Daten zu schätzen. Dies kann indirekt geschehen über eine Schätzung der Varianz $Var(Y_i)$. Um dies zu erleichtern, wird zunächst Gleichung (2.7) umgeformt. Zunächst wird auf beiden Seiten der Gleichung (2.7) $2\sigma^2$ addiert:

$$Var(Y_i) + 2\sigma^2 = 2 \left[\frac{\sum_{j \neq i}^{10} a_j^2 \sigma^2}{a_i^2} + 2\sigma^2 \right] \quad (2.12)$$

Formt man diese Gleichung weiter um, so erreicht man, dass die rechte Seite die Summe aller zehn Gewichte a_j ($j = 1..10$) enthält:

$$a_i^2 [Var(Y_i) + 2\sigma^2] = 2 \sum_{j=1}^{10} a_j^2 \sigma^2 \quad (2.13)$$

Damit ist die rechte Seite der Gleichung (2.13) für alle Segmente i und damit auch für alle Y_i gleich.

Deshalb können für beliebige k und $l \in [1; 10]$ die linken Seiten der Gleichung (2.13) gleichgesetzt werden:

$$a_k^2 [Var(Y_k) + 2\sigma^2] = a_l^2 [Var(Y_l) + 2\sigma^2] \quad (2.14)$$

Weitere Umformung zeigt, dass ein Verhältnis der Varianzen von Y für zwei beliebige Segmente k und l dem inversen Verhältnis der quadrierten Gewichte a_k^2 und a_l^2 dieser beiden Segmente entspricht:

$$\frac{\kappa_l [Var(Y_l) + 2\sigma^2]}{\kappa_k [Var(Y_k) + 2\sigma^2]} = \frac{\kappa_k a_k^2}{\kappa_l a_l^2} \quad (2.15)$$

Die Koeffizienten κ_i stehen für das jeweilige Vorzeichen, das dem Gewicht a_i zuzuweisen ist. Sie können deshalb die Werte +1 oder -1 annehmen.

Gleichung (2.15) zeigt, dass hieraus die relativen Gewichte a_i berechnet werden könnten, wenn $Var(Y_i)$ bekannt wäre. Die Berechnung der relativen Gewichte kann iterativ erfolgen, indem ein Gewicht willkürlich auf einen Wert, z.B. 1, gesetzt wird, und die übrigen Gewichte entsprechend dazu abgeleitet werden.

Die Varianz $Var(Y_i)$ kann nun aus den empirischen Daten geschätzt werden. Die Datenerhebung liefert das Antwortverhalten der Versuchspersonen, also die Häufigkeit der Antworten “Intervall 1 war lauter“, in Bezug zur Pegeldifferenz $\Delta x_i = x_{1i} - x_{2i}$ in jedem Segment i . Das Entscheidungskriterium aus den Ungleichungen (2.3) und (2.4) besagt nun, eine Versuchsperson wird das lautere Rauschen in Intervall 1 hören, wenn gilt $\Delta x_i > Y_i$ im Fall positiver Gewichte ($a_i > 0$) - bzw. $\Delta x_i < Y_i$ im Fall negativer Gewichte ($a_i < 0$).

Da Y_i normalverteilt ist, kann die Wahrscheinlichkeit für eine “Intervall 1 - Antwort“ $P(\text{Intervall 1} \mid \Delta x_i)$, also dafür, dass eine Versuchsperson antwortet “Intervall 1 war lauter“ - bei gegebenem Δx_i - geschrieben werden als:

Für $a_i > 0$:

$$P(\text{Intervall 1} \mid \Delta x_i) = P(\Delta x_i > Y_i) = \int_{-\infty}^{\Delta x_i} f(u) du = \phi(\Delta x_i) \quad (2.16)$$

Für $a_i < 0$:

$$P(\text{Intervall 1} \mid \Delta x_i) = P(\Delta x_i < Y_i) = \int_{\Delta x_i}^{\infty} f(u) du = 1 - \phi(\Delta x_i) \quad (2.17)$$

Hierin beschreibt $f(x)$ die Dichtefunktion und $\phi(x)$ die Verteilungsfunktion (kumulative Normalverteilung) von Y_i mit den Erwartungswerten $E(Y_i \mid \text{Signal in Intervall 1})$ bzw. $E(Y_i \mid \text{Signal in Intervall 2})$ und der Varianz $Var(Y_i)$.

Schätzung psychometrischer COSS-Funktionen Als empirische Äquivalente zu den Gleichungen (2.16) und (2.17) können nun aus den empirischen Daten separat für jedes Zeitsegment i psychometrische Funktionen, sogenannte COSS-Funktionen (conditional on a single stimulus), konstruiert werden. Diese COSS-Funktionen geben dann die Wahrscheinlichkeit für eine “Intervall 1 - Antwort“ an in Abhängigkeit von der Pegeldifferenz zwischen dem ersten und dem zweiten Intervall $x_{1i} - x_{2i}$ im

jeweiligen Segment i .³ Die Konstruktion einer COSS-Funktion für ein Zeitsegment erfolgt jeweils unabhängig von den Pegeldifferenzen in allen anderen Segmenten. Abbildung 2.5 zeigt ein Beispiel für COSS-Funktionen für das erste Zeitsegment in der Bedingung “Pause 5 ms“ für die Versuchsperson BA.

Da $E(Y_i)$ davon abhängt, ob das “Signal“ im ersten oder zweiten Intervall dargeboten wurde, müssen für jedes Segment zwei COSS-Funktionen geschätzt werden, eine für den Fall “Signal in Intervall 1“ (rot) und eine für den Fall “Signal in Intervall 2“ (blau). Da die Reize aus zehn Segmenten bestanden, werden für jede Versuchsperson in jeder Bedingung zwanzig COSS-Funktionen geschätzt. Dafür müssen zunächst die Daten aufgeteilt werden nach Durchgängen mit dem “Signal“ im ersten Intervall und im zweiten Intervall. Diese Datenmengen werden jeweils getrennt ausgewertet.

Zur Ermittlung der Datenpunkte in Abbildung 2.5 werden dann die Durchgänge entsprechend der Pegeldifferenzen in jedem Segment i in 20 Klassen eingeteilt. Die Bildung der Klassen erfolgt so, dass durch die Wahl entsprechender z-Werte für die Klassengrenzen 5% aller Durchgänge in eine Klasse fallen sollen. Bei 2240 Durchgängen, die jede Versuchsperson in jeder Bedingung absolvierte, waren das im Durchschnitt 1120 Durchgänge für die Fälle “Signal in Intervall 1“ und “Signal in Intervall 2“, und damit im Durchschnitt 56 Durchgänge in jeder Klasse. Die Datenpunkte in Abbildung 2.5 entsprechen dann jeweils den relativen Häufigkeiten der “Intervall 1-Antworten“ als Funktion der Mediane der Klassen von Pegeldifferenzen.

Um die COSS-Funktionen für die Fälle “Signal in Intervall 1“ und “Signal in Inter-

³Die Wahl der Pegeldifferenz $x_{1i} - x_{2i}$ als unabhängige Variable für die Konstruktion der psychometrischen Funktion entspringt dabei allein der ausgeführten mathematischen Ableitung aus dem angenommenen Verhaltensmodell im 2IFC-Verfahren, dass ein Beobachter zwei gewichtete Summen (Gleichung 2.2) vergleicht, woraus er dann sein Urteil bildet. Zur Ermittlung der Gewichte a_i in diesem 2IFC-Paradigma bedarf es dann der Dekomposition der Daten in der Weise, wie sie hier geschehen ist. Laut Berg & Green (1990) hat deshalb die Wahl der unabhängigen Variablen $x_{1i} - x_{2i}$ rein methodische Gründe und entspricht nicht der Annahme, die Versuchsperson würde sich auch so verhalten: “By decomposing the stimulus into its component parts, we are free to define the independent variable of the COSS functions as the difference in the perturbation of tone i , that is, $x_{1i} - x_{2i}$. Our intent is to examine an observer’s responses as a function of the physical value of the perturbation difference, $x_{1i} - x_{2i}$. Since this difference appears to contradict our assumption that decisions are based on simultaneous, across-channel comparisons, it is important to point out that we are not implying that observers process within channel, perturbation differences. The quantity, $x_{1i} - x_{2i}$, is strictly a variable that we define as experimenters.“ (Berg & Green, 1990, S. 760).

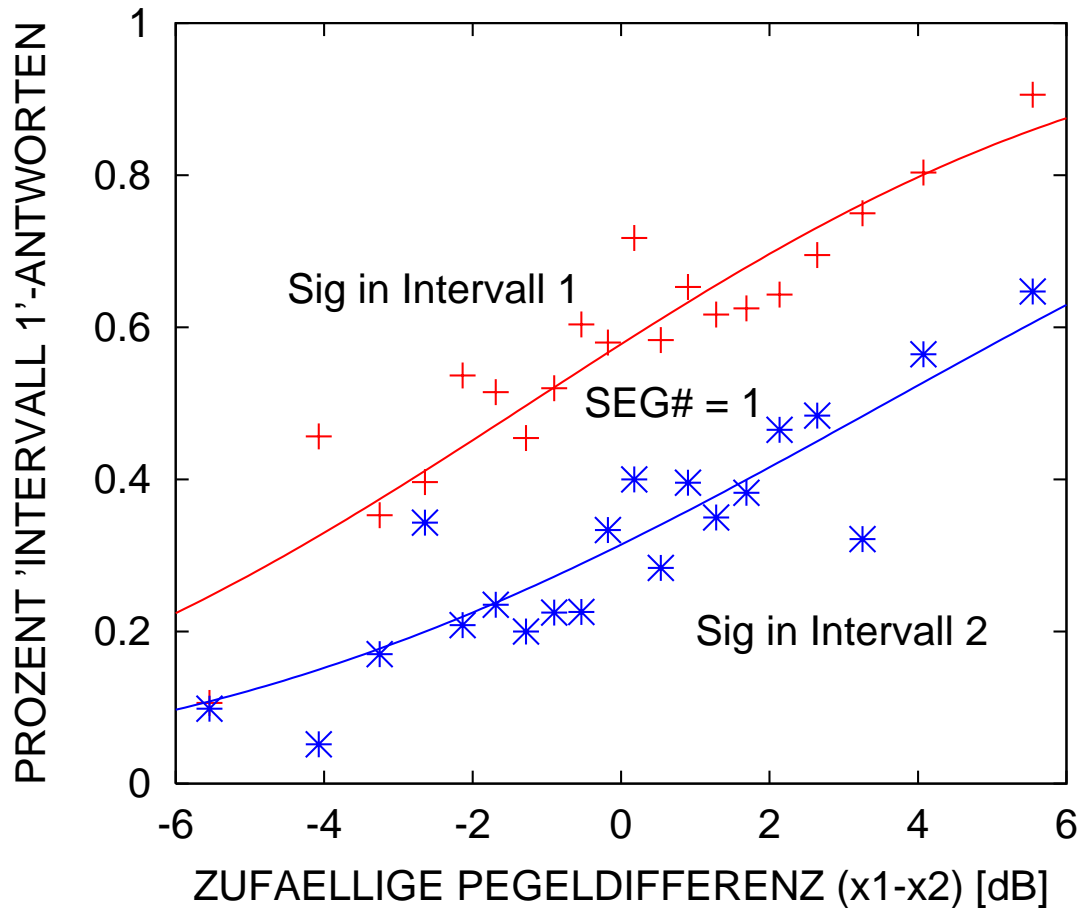


Abbildung 2.5: Beispiel für COSS-Funktionen für ein Segment (Segment 1) für Versuchsperson BA für die Reizbedingung mit Pausen von 5 ms zwischen den Reizsegmenten. An die Datenpunkte ist jeweils eine kumulative Normalverteilung angepasst. Es sind die COSS-Funktionen für den Fall “Signal in Intervall 1” (rot, Kreuze) und “Signal in Intervall 2” (blau, Sterne) dargestellt.

vall 2“ vergleichbar zu machen, werden “Signal“- und “Noise“-Verteilungen bei der Auswertung einander angeglichen. Dies geschieht, indem von allen Pegelstufen in “Signal“-Reizen Δs abgezogen wird. Δs entspricht im vorliegenden Fall 1 dB, dem Mittelwertsunterschied zwischen “Signal“- und “Noise“-Verteilung. Dieses Vorgehen bewirkt eine Verschiebung der COSS-Funktionen entlang der x-Achse. Für den Fall “Signal in Intervall 1“ wird die COSS-Funktion um -1 dB verschoben ($-\Delta s$), im Fall “Signal in Intervall 2“ um +1 dB ($+\Delta s$). Diese Transformation betrifft nur $E(Y_i)$, während die Varianz $Var(Y_i)$ davon unberührt bleibt und damit auch die Steigung der

COSS-Funktionen sowie deren Lage entlang der y-Achse.

Da Y_i normalverteilt ist, können die Daten durch eine kumulative Normalverteilung beschrieben werden. Mittels Kleinst-Quadrate-Schätzung wird eine entsprechende Ogive angepasst. Ein χ^2 -Anpassungstest beschreibt die Anpassungsgüte.⁴

Die für die Ermittlung der Gewichte interessierende Schätzung der $Var(Y_i)$ findet ihre Widerspiegelung in der Steigung der COSS-Funktionen. Steile COSS-Funktionen geben einen starken Einfluss des Segments auf die Entscheidung der Versuchsperson wieder, denn je steiler die COSS-Funktion, desto mehr variiert das Antwortverhalten bei unterschiedlichen Pegeldifferenzen. Eine positive Steigung bedeutet demnach: je größer die Pegeldifferenz zwischen dem ersten und dem zweiten Intervall, desto häufiger wählt die Versuchsperson das erste Intervall. Eine negative Steigung würde die umgekehrte Interpretation implizieren. Je größer die Pegeldifferenz zwischen erstem und zweitem Intervall, desto häufiger entschied sich die Versuchsperson für Intervall 2. Flache COSS-Funktionen geben demgegenüber an, dass dieses Segment für das Probandenurteil kaum eine Rolle spielt, denn die Pegeldifferenz beeinflusst das Antwortverhalten nicht.

Die Steigung am Wendepunkt der psychometrischen Funktion entspricht dabei der Wurzel aus dem Kehrwert der Varianz der Funktion Y_i . Je kleiner die Varianz ist, desto steiler wird die Verteilungsfunktion.

Die Lage der COSS-Funktionen (siehe Abb. 2.5) lässt noch weitere Rückschlüsse zu: Der *Abstand* der beiden COSS-Funktionen für “Signal in Intervall 1“ und “Signal in Intervall 2“ lässt sich als Maß für die Diskriminationsfähigkeit des Probanden interpretieren, also als Maß dafür, wie gut ein Proband zwischen den beiden Verteilungen für “Signal“ und “Noise“ unterscheiden kann. Je weiter die COSS-Funktionen auseinanderliegen, desto besser die Diskriminationsfähigkeit. Darüberhinaus kann die *Lage* der COSS-Funktionen entlang der y-Achse als Maß für einen “bias“ im Antwortverhalten gesehen werden. Sind die Funktionen z.B. stark nach oben verschoben, spricht das dafür, dass der Proband die Tendenz hat, grundsätzlich häufiger “Intervall 1 war lauter“ zu antworten, unabhängig von der physikalischen Reizstruktur.

⁴Zur Durchführung dieser Auswertung wurde uns freundlicherweise von Dr. Bruce Berg, UC Irvine, Kalifornien, ein Programm zur Verfügung gestellt, das an die Bedürfnisse des vorliegenden Experiments angepasst wurde. Dasselbe Programm wurde auch von Schrödl (2001) verwendet.

Schätzung der Gewichte Die Berechnung der Gewichte a_i erfolgt gemäß den Gleichungen (2.15) mit den geschätzten Varianzen. Da für die Bedingungen “Signal in Intervall 1“ und “Signal in Intervall 2“ jeweils eine $Var(Y_i)$ geschätzt werden musste, werden auch die Gewichte a_i zunächst für diese beiden Bedingungen getrennt ermittelt. Da sich die $Var(Y_i)$ nach der Theorie der COSS-Analyse nicht unterscheiden, kann für jedes Segment i einfach der Mittelwert aus den beiden Gewichten für dieses Segment gebildet werden.

Wie Gleichung (2.15) zeigt, ist das quadrierte Verhältnis zweier Gewichte a_k und a_l umgekehrt proportional zum Verhältnis der zugehörigen Varianzen $Var(Y_k)$ und $Var(Y_l)$. Je kleiner also eine dieser Varianzen, desto größer ist das entsprechende Gewicht und somit auch der Einfluss, den das entsprechende Segment auf die Entscheidung der Versuchsperson hat. Damit wird auch das Verhältnis der Gewichte a_i zu den jeweiligen COSS-Funktionen sichtbar: je kleiner die Varianz, desto steiler die COSS-Funktion und desto größer auch das zugehörige Gewicht.

Das Vorzeichen des Gewichts a_i findet auch seine Entsprechung in der Steigung der COSS-Funktionen. Eine positive Steigung spiegelt ein positives Gewicht wider, eine negative Steigung ein negatives Gewicht. Mathematisch wird das Vorzeichen eines Gewichts davon bestimmt, welche Funktion - $\phi(\Delta x_i)$ oder $1 - \phi(\Delta x_i)$ - die bessere Anpassung liefert. Gemäß den Gleichungen (2.16) und (2.17) ist das Gewicht positiv, wenn $\phi(\Delta x_i)$ die Daten besser beschreibt, und negativ, wenn $1 - \phi(\Delta x_i)$ die Daten besser beschreibt.

Um die Gewichte über Bedingungen und Versuchspersonen hinweg besser vergleichen zu können, werden sie schließlich noch normiert, so dass die Beziehung $\sum_{i=1}^{10} a_i = 1$ gilt. Diese Normierung macht jedoch nur Sinn, wenn alle Gewichte positiv sind.

Ergebnisse der COSS-Analyse Für jede Versuchsperson wurden in jeder der drei Pausen-Bedingungen 20 COSS-Funktionen geschätzt, in jedem der zehn Zeitsegmente eine für den Fall “Signal in Intervall 1“ und eine für den Fall “Signal in Intervall 2“. Damit wurden über alle Versuchspersonen und Bedingungen hinweg insgesamt 480 COSS-Funktionen geschätzt.

11 von 480 COSS-Funktionen (2,29 %) unterschieden sich signifikant ($\alpha = 0,05$) von einer kumulativen Normalverteilung. Dies war in der Bedingung “Pause 5 ms“ insgesamt 2-mal der Fall, in der Bedingung “Pause 40 ms“ 7-mal und in der Bedingung “Pause 100 ms“ 2-mal.

Nur im Falle einer Versuchsperson (LK) unterscheiden sich in einer Bedingung (Pause 40 ms) 3 von 20 COSS-Funktionen signifikant von einer kumulativen Normalverteilung. In allen anderen Fällen trifft das jeweils höchstens auf eine von 20 COSS-Funktionen pro Versuchsperson und Bedingung zu. Daher kann insgesamt noch von einer guten Anpassung der COSS-Funktionen an die Daten ausgegangen werden. Eine genaue Zusammenstellung aller Parameter der COSS-Funktionen findet sich im Anhang B1 (ab S. 226).

Die Abbildungen 2.6, 2.7 und 2.8 zeigen beispielhaft jeweils einen Satz von COSS-Funktionen für eine Versuchsperson (HA) in den drei Bedingungen “Pausen 5 ms, 40 ms und 100 ms“. Für jedes Zeitsegment 1 bis 10 wurden zwei COSS-Funktionen geschätzt. Ein Vergleich der COSS-Funktionen in den drei Pausen-Bedingungen deutet darauf hin, dass die Gewichtung der Zeitsegmente mit steigender Gesamtdauer der Reize zunehmend von einer Gleichgewichtung aller Segmente abweicht. Besonders die ersten Segmente weisen in den Bedingungen “Pausen 40 ms und 100 ms“ steilere COSS-Funktionen auf.

Die Abbildung 2.9 zeigt die aus den COSS-Funktionen abgeleiteten mittleren Gewichte in jeder der drei Bedingungen (durchgezogene Linie), gemittelt über alle acht Versuchspersonen. Die gestrichelten Linien geben die Gewichtsfunktionen einzeln für jede Versuchsperson an. Die dargestellten Gewichte wurden für jede Versuchsperson wiederum gemittelt aus den Einzelgewichten, die zunächst separat für die Fälle “Signal in Intervall 1“ und “Signal in Intervall 2“ geschätzt worden waren. Wie die Abbildungen 7.1, 7.2 und 7.3 im Anhang B1 (S. 233 - 235) zeigen, ähneln sich die Muster der beiden Funktionen für “Signal in Intervall 1“ und “Signal in Intervall 2“ innerhalb einer Versuchsperson relativ stark.

Abbildung 2.10 zeigt einen direkten Vergleich der drei Bedingungen für jede Versuchsperson. Die Gewichte sind so normiert, dass sie in der Summe 1 ergeben. Eine Gleichgewichtung aller Segmente würde demnach in Gewichten von 0.1 resultieren, wie sie durch die graue Linie dargestellt sind.

Abbildung 2.11 und Tabelle 2.4 geben nun die mittleren Gewichte und Standardfehler über acht Versuchspersonen gemeinsam in den drei Bedingungen wieder. Es zeigt sich hier die tendenziell flachere Gewichtung der kurzen Reize (rote Linie, “Pausen 5 ms”).

Tabelle 2.4: Mittlere Gewichte über alle acht Versuchspersonen in den drei Bedingungen Pausen von 5 ms, 40 ms und 100 ms.

Segment	Pausen 5 ms		Pausen 40 ms		Pausen 100 ms	
	a_i	Std.f.	a_i	Std.f.	a_i	Std.f.
1	0,1402	0,0365	0,1747	0,0194	0,1887	0,0189
2	0,1327	0,0084	0,1836	0,0097	0,1653	0,0150
3	0,1274	0,0078	0,1552	0,0071	0,1410	0,0109
4	0,1089	0,0124	0,1100	0,0047	0,0868	0,0108
5	0,0906	0,0083	0,0911	0,0089	0,1072	0,0073
6	0,0847	0,0112	0,0812	0,0108	0,0784	0,0078
7	0,0753	0,0102	0,0579	0,0070	0,0605	0,0093
8	0,0761	0,0074	0,0503	0,0102	0,0652	0,0135
9	0,0864	0,0072	0,0498	0,0080	0,0631	0,0148
10	0,0776	0,0129	0,0462	0,0096	0,0437	0,0129

Zum Test auf signifikante Unterschiede zwischen den Bedingungen wurde eine zweifaktorielle (Pausendauer \times zeitliche Position des Segments) Varianzanalyse für verbundene Stichproben durchgeführt. Die Varianzanalyse zeigt, dass der Faktor “Pausendauer” nicht signifikant wird; $F(2, 14) = 1.0, p = 0.393$. Der Faktor “zeitliche Position” wird jedoch signifikant; $F(9, 63) = 26.346, p < 0.001$. Weitergehende Analysen zeigten einen signifikanten linearen Trend für diesen Faktor, der auf einen starken “Primacy-Effekt” hinweist, unabhängig von der Gesamtdauer der Reize; $F(1, 7) = 131.177, p < 0.001$. Post-hoc-Tests nach Bonferroni zeigen statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Gewichten des Zeitsegments 1 und den Ge-

wichten der Segmente 7, 8, 9 und 10, sowie zwischen den Gewichten der Zeitsegmente 2 und 3 und den Gewichten der Segmente 4, 5, 6, 7, 8, 9 und 10. Die Interaktion zwischen Pausendauer und Segment wurde signifikant; $F(18, 126) = 1.804, p = 0.031$. Dies weist auf den tendenziell flacheren Verlauf der Gewichtungskurve für die Bedingung “Pausendauer 5 ms“ im Vergleich zu den anderen beiden Bedingungen hin. Wertet man die Daten unter Ausschluss der Gewichte von Versuchsperson BA aus, die ein zu den übrigen Teilnehmern entgegengesetztes Muster zeigte, so wird die Interaktion zwischen “Pausendauer“ und “Segmentposition“ sogar hochsignifikant; $F(18, 108) = 4.995, p < 0.001$.

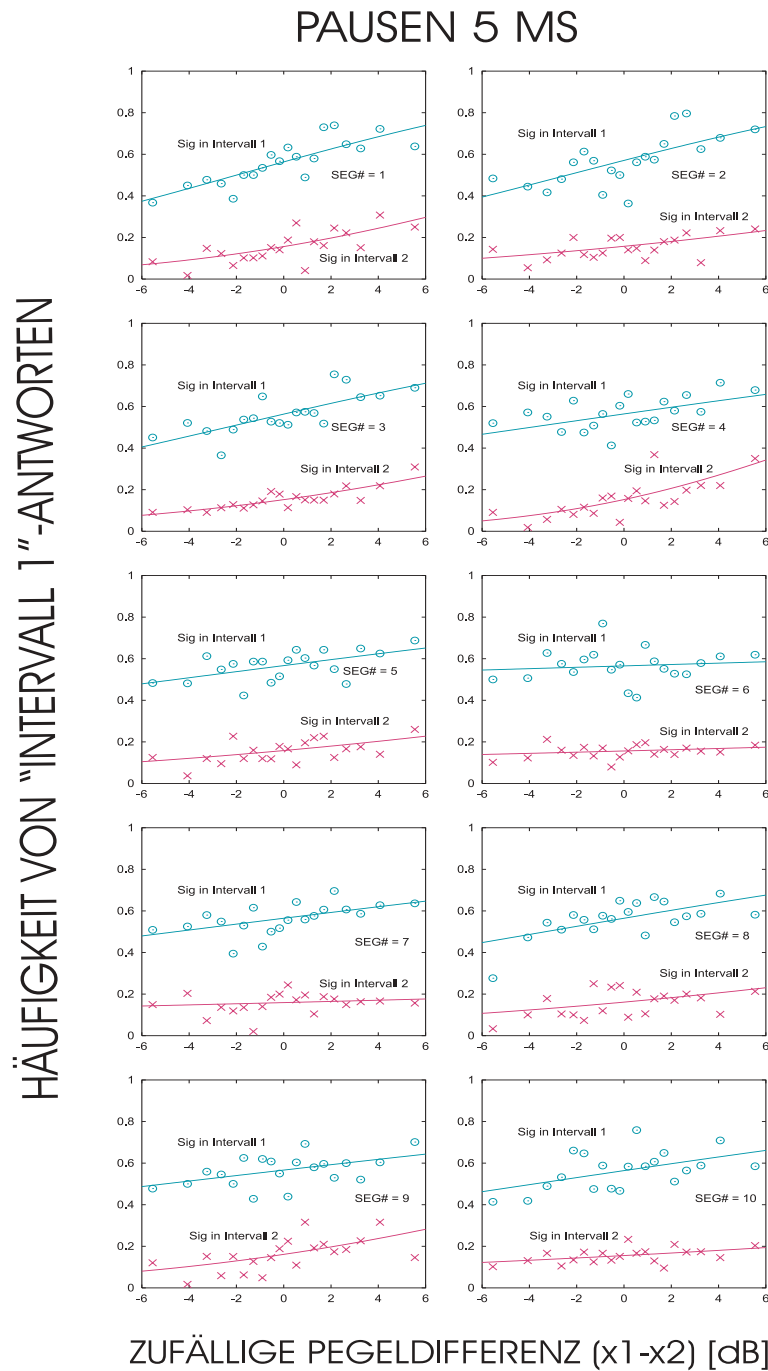


Abbildung 2.6: COSS-Funktionen für alle zehn Zeitsegmente für die Bedingung “Pausen 5 ms” für Vp HA. Für jedes Zeitsegment wurden zwei COSS-Funktionen geschätzt, die obere (grün) für den Fall “Signal in Intervall 1”, die untere (rot) für den Fall “Signal in Intervall 2”. Je steiler eine COSS-Funktion, desto größer der Einfluss des zugehörigen Segments auf die Entscheidung der Versuchsperson. Die Datenpunkte repräsentieren die relativen Häufigkeiten von “Intervall 1“-Antworten in Abhängigkeit der Pegeldifferenz in diesem Segment zwischen Intervall 1 und Intervall 2, die Kurven die angepassten kumulativen Normalverteilungen.

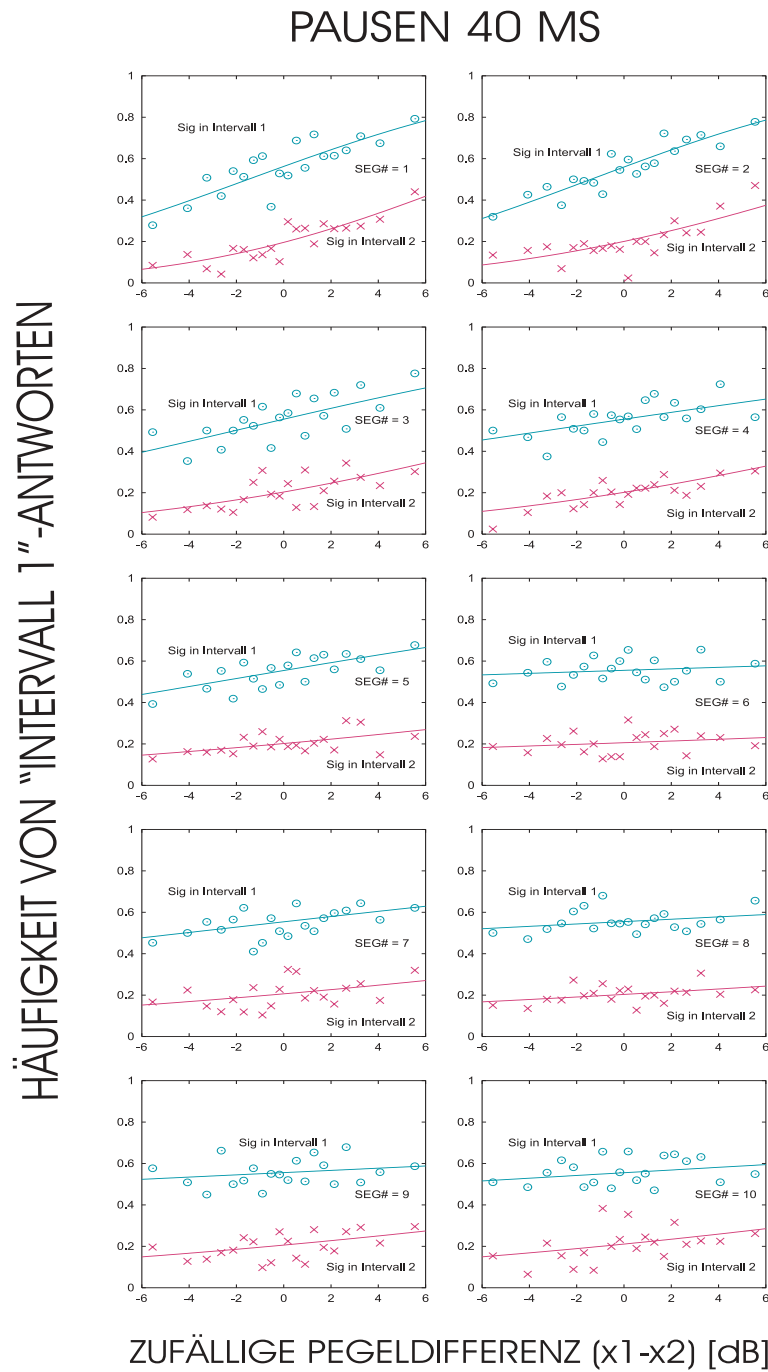


Abbildung 2.7: COSS-Funktionen für alle zehn Zeitsegmente für die Bedingung “Pausen 40 ms” für Vp HA. Für jedes Zeitsegment wurden zwei COSS-Funktionen geschätzt, wie in Abbildung 2.6 erläutert.

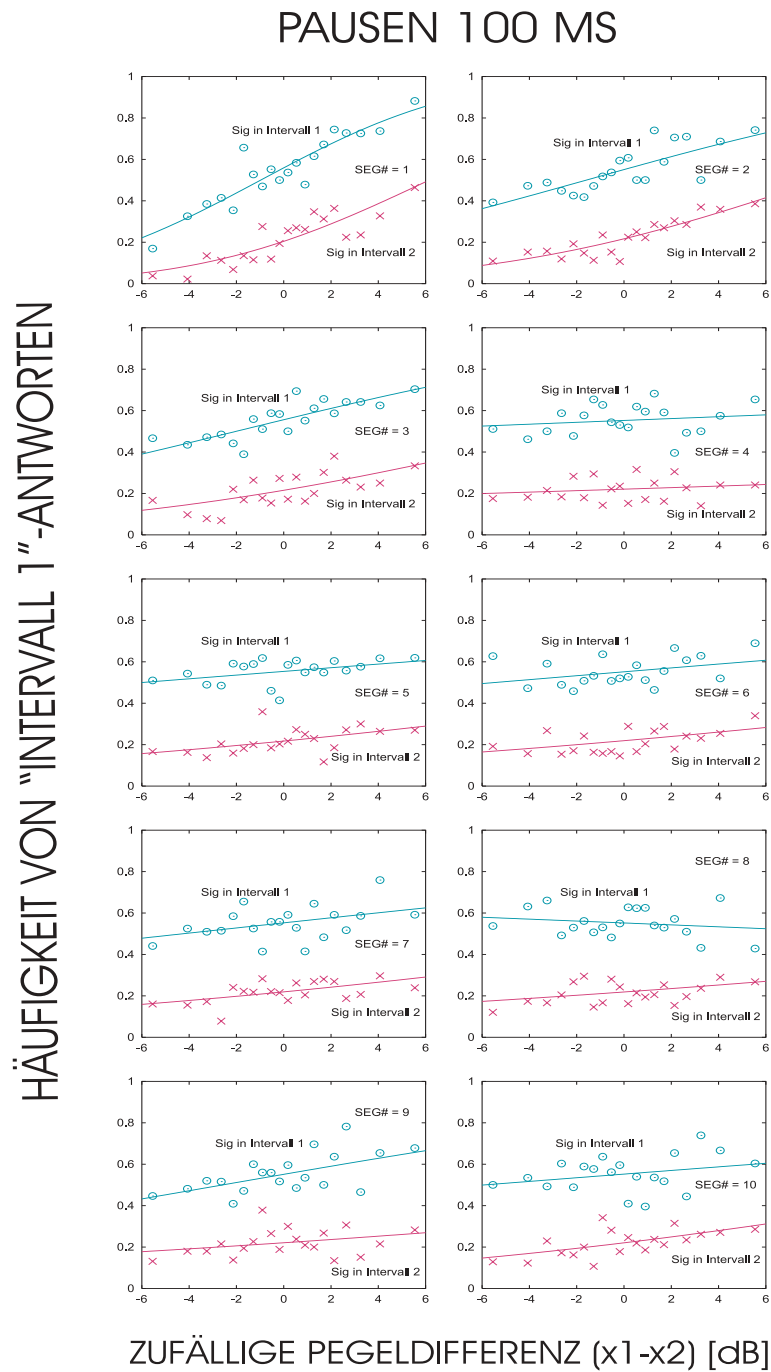


Abbildung 2.8: COSS-Funktionen für alle zehn Zeitsegmente für die Bedingung “Pausen 100 ms” für Vp HA. Weitere Erläuterungen siehe Abbildung 2.6

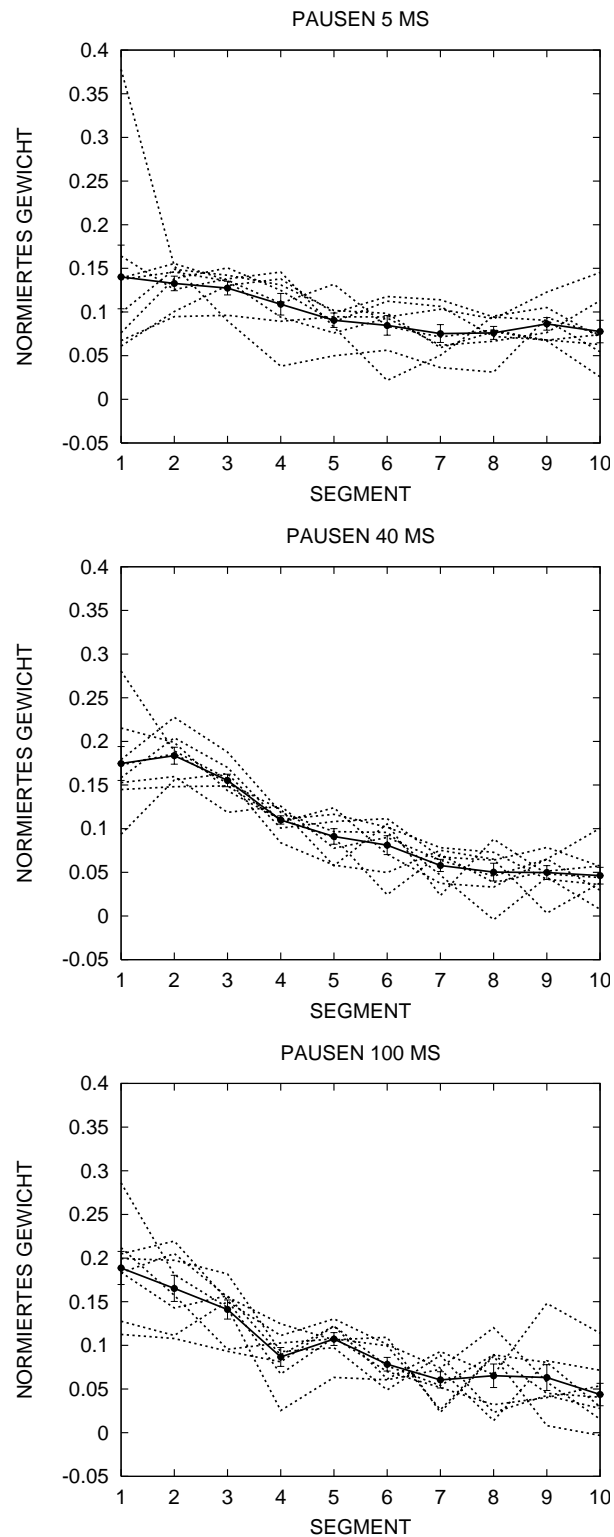


Abbildung 2.9: Mittlere Gewichte über alle acht Versuchspersonen (durchgezogene Linie) in allen drei Bedingungen. Jede gestrichelte Linie steht für die Gewichte einer Versuchsperson.

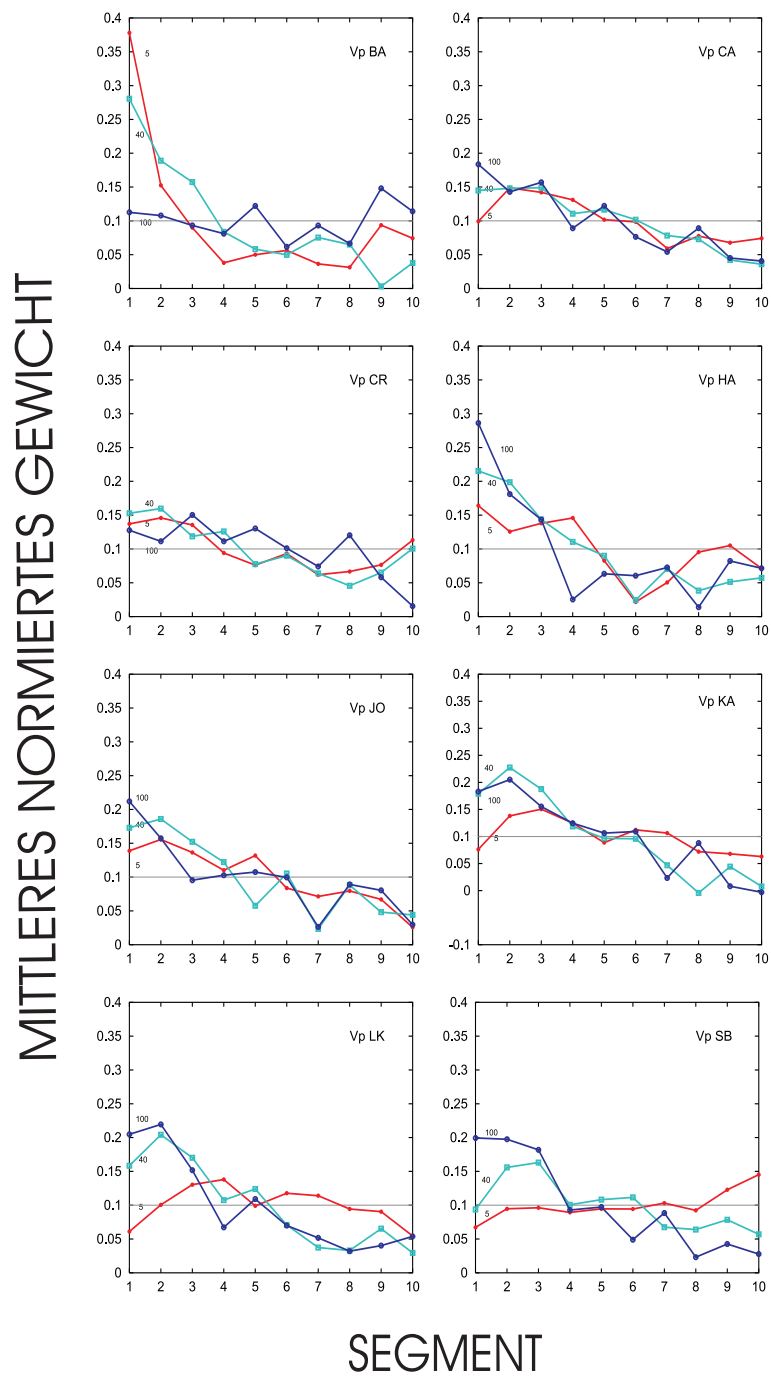


Abbildung 2.10: Mittlere Gewichte in den Bedingungen “Pausen 5 ms” (rot), “Pausen 40 ms” (grün) und “Pausen 100 ms” (blau) für jede Versuchsperson einzeln.

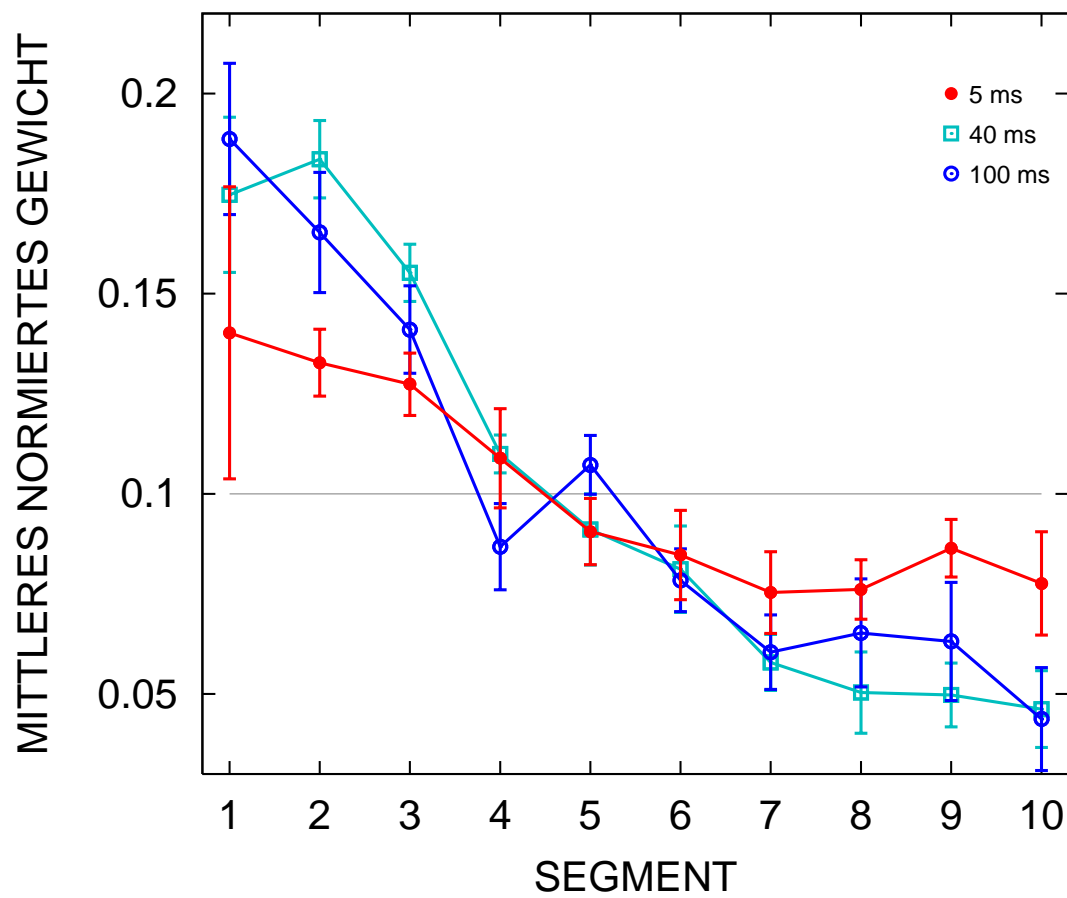


Abbildung 2.11: Mittlere Gewichte und Standardfehler über acht Versuchspersonen in den Bedingungen "Pausen 5 ms" (rot), "Pausen 40 ms" (grün) und "Pausen 100 ms" (blau).

2.3.2.2 Logistische Regression

Theoretischer Hintergrund Die logistische Regression stellt eine neuere statistische Methode dar, um mit einem robusten Schätzverfahren Fragestellungen mit dichotomen abhängigen Variablen zu untersuchen (Krafft, 1997). Sie erlaubt damit die Voraussage diskreter bzw. dichotomer Ergebnisse, im vorliegenden Fall z.B. ob ein Proband in einem Reizpaar den “Signal“-Reiz richtig erkennen wird, auf Grundlage einer Reihe von unabhängigen Variablen, hier u.a. die Pegeldifferenzen in jedem Zeitsegment zwischen dem “Signal“- und dem “Noise“-Reiz. Die logistische Regression ist flexibler als andere Methoden, da hier von den Regressoren nicht gefordert wird, normalverteilt zu sein oder gleiche Varianz innerhalb einer Gruppe aufzuweisen (Tabachnick & Fidell, 2001). Die unabhängigen Variablen, die in das Modell eingehen, können sowohl metrisch als auch kategorial sein. Für sie wird lediglich vorausgesetzt, dass sie voneinander unabhängig sind und keine Autokorrelation vorliegt (Krafft, 1997). Ein besonderer Vorteil der Logistischen Regression besteht darin, dass für die geschätzten Koeffizienten asymptotisch t-verteilte Statistiken vorliegen (Krafft, 1997), während dies für die Gewichte aus der COSS-Analyse nicht der Fall ist und die Konstruktion von Konfidenzintervallen für diese Art von Gewichten nur über Umwege (wie z.B. Monte-Carlo-Simulationen, siehe Werner, 2002) erfolgen kann.

Im Folgenden soll das Verfahren nach Krafft (1997) und nach Tabachnick & Fidell (2001) anhand der in Experiment 1 vorliegenden Daten vorgestellt werden. Im Modell wird zunächst - wie auch bei der COSS-Analyse - davon ausgegangen, dass die Daten einer Versuchsperson jeweils in jeder Experimentalbedingung einzeln untersucht werden.

Das Modell für die Schätzung der Gewichte für eine einzelne Versuchsperson

Die Ergebnisvariable \hat{y}_k gibt die Wahrscheinlichkeit einer “Signal“-Antwort der Vp im k-ten Durchgang an. Sie kann deshalb Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Angenommen wird folgender nicht-linearer funktioneller Zusammenhang mit der besten linearen Kombination der Prädiktoren:

$$\hat{y}_k = \frac{e^{\beta_0 + \sum_{i=1}^{10} \beta_i x_{ki} + \varepsilon_k}}{1 + e^{\beta_0 + \sum_{i=1}^{10} \beta_i x_{ki} + \varepsilon_k}} \quad (2.18)$$

mit:

β_0 : Konstante

β_i : Koeffizient der i -ten unabhängigen Variablen x_{ki} ($i \in I$), in diesem Falle steht jedes i wieder für ein Zeitsegment.

x_{ki} : Ausprägung der i -ten unabhängigen Variablen ($i \in I$) im k -ten Durchgang ($k \in K$), wobei x_{ki} hier jeweils für die entsprechende Pegeldifferenz im i -ten Zeitsegment zwischen “Signal“ und “Noise“ steht.⁵

ε_i : Störterm

I : Menge der Zeitsegmente (unabhängige Variablen)

K : Menge der Durchgänge

Daraus leitet sich, wählt man das Logit-Modell, folgender Zusammenhang zwischen der logarithmierten Wettchance (“odds“) und den unabhängigen Modellvariablen ab:

$$\ln\left(\frac{\hat{y}_k}{1 - \hat{y}_k}\right) = \beta_0 + \sum_{i=1}^{10} \beta_i x_{ki} + \varepsilon_k \quad (2.19)$$

Zur Schätzung der Regressionskoeffizienten wird das Maximum-Likelihood-Verfahren angewendet. Dessen Prinzip besteht darin, die Schätzer für die Regressionskoeffizienten so zu wählen, dass die Wahrscheinlichkeit für die beobachteten Werte maximal wird. Eine perfekte Anpassung würde demnach in einer Likelihood von 1 resultieren (Krafft, 1997).

Relevanz und Vorhersagekraft des Modells für jede einzelne Versuchsperson

Zur Überprüfung der Modellrelevanz wird üblicherweise mit der mit -2 multiplizierten logarithmierten Likelihood (-2LL) gerechnet, da diese Größe asymptotisch χ^2 -verteilt ist (Krafft, 1997). Um die Relevanz des hier gewählten Regressionsmodells (Gleichung 4.15) zu prüfen, wird hier der Likelihood-Quotienten-Test verwendet (Menard, 1995; Tabachnick & Fidell, 2001). Es wird getestet, ob das gewählte Modell die Daten signifikant besser erklären kann als ein Modell, das nur eine Konstante enthält.

⁵Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, werden als unabhängige Variablen wie bei der COSS-Analyse die Pegeldifferenzen $x_{1i} - x_{2i}$ eingesetzt. Sie entsprechen hier den Regressoren x_{ki} .

Hierzu wird die Differenz in der -2 Log-Likelihood zwischen dem gewählten Modell $[-2LL(B)]$ und dem Modell, das nur die Konstante enthält $[-2LL(0)]$, verwendet. Es ergibt sich eine χ^2 -verteilte Teststatistik mit in diesem Fall 10 Freiheitsgraden (Tabachnick & Fidell, 2001):

$$\chi^2 = -2LL(0) - [-2LL(B)] \quad (2.20)$$

Getestet wird die Nullhypothese, dass die Regressoren β_1 bis β_I gleich 0 sind. Ein p-Wert ≤ 0.05 weist darauf hin, dass die Nullhypothese abzulehnen ist und damit die Aufnahme der gewählten Regressoren das Modell signifikant verbessert (Menard, 1995). Die Tabelle 2.5 gibt die χ^2 -Werte, sowie die Freiheitsgrade und den p-Wert für diesen Modelltest für alle Versuchspersonen und alle Experimentalbedingungen wieder.

Die Ergebnisse zeigen, dass das gewählte Modell in allen Fällen die Daten signifikant besser erklären kann, als ein Modell, das nur die Konstante enthält. Die gewählten Regressoren liefern damit relevante Information zur Erklärung der abhängigen Variablen.

Bei der logistischen Regression kann jedoch mehr als die Relevanz der Regressoren in einem Modell interessieren, wie gut das Modell die Ergebnisse der dichotomen abhängigen Variable vorhersagen kann. Die folgende Tabelle 2.6 gibt die Prozentsätze an, die das gewählte Modell richtig vorherzusagen vermag. Aufgrund der großen Stichprobe, die mit mehreren Tausend Beobachtungen für jede Modellschätzung vorliegt, dürfte die Aussagekraft dieser Vorhersagegenauigkeit relativ groß sein (siehe Krafft, 1997). Die Ergebnisse zeigen, dass das gewählte Modell die Daten im Allgemeinen gut vorhersagen kann.

Tabelle 2.5: Ergebnisse des Likelihood-Quotienten-Tests auf Modellrelevanz

Pausen 5 ms						
V_p	“Signal“ in Intervall 1			“Signal“ in Intervall 2		
	χ^2	df	p	χ^2	df	p
BA	171,864	10	< 0,001	141,526	10	< 0,001
CA	293,280	10	< 0,001	256,004	10	< 0,001
CR	168,063	10	< 0,001	168,392	10	< 0,001
HA	147,784	10	< 0,001	146,701	10	< 0,001
JO	161,620	10	< 0,001	172,795	10	< 0,001
KA	167,331	10	< 0,001	170,296	10	< 0,001
LK	231,107	10	< 0,001	174,103	10	< 0,001
SB	292,283	10	< 0,001	255,348	10	< 0,001

Pausen 40 ms						
V_p	“Signal“ in Intervall 1			“Signal“ in Intervall 2		
	χ^2	df	p	χ^2	df	p
BA	148,421	10	< 0,001	156,666	10	< 0,001
CA	349,824	10	< 0,001	298,825	10	< 0,001
CR	216,861	10	< 0,001	178,606	10	< 0,001
HA	189,775	10	< 0,001	149,699	10	< 0,001
JO	177,071	10	< 0,001	174,232	10	< 0,001
KA	167,331	10	< 0,001	170,296	10	< 0,001
LK	213,406	10	< 0,001	185,533	10	< 0,001
SB	291,152	10	< 0,001	307,608	10	< 0,001

Pausen 100 ms						
V_p	“Signal“ in Intervall 1			“Signal“ in Intervall 2		
	χ^2	df	p	χ^2	df	p
BA	166,291	10	< 0,001	117,710	10	< 0,001
CA	286,645	10	< 0,001	199,438	10	< 0,001
CR	123,263	10	< 0,001	133,891	10	< 0,001
HA	214,119	10	< 0,001	166,681	10	< 0,001
JO	206,521	10	< 0,001	140,607	10	< 0,001
KA	112,195	10	< 0,001	99,095	10	< 0,001
LK	174,278	10	< 0,001	171,369	10	< 0,001
SB	277,427	10	< 0,001	219,248	10	< 0,001

Tabelle 2.6: Prozentsätze der durch das Modell richtig vorhergesagten Antworten

Pausen 5 ms		
V_p	“Signal“ in Intervall 1 % vorhergesagt	“Signal“ in Intervall 2 % vorhergesagt
BA	66,5	70,5
CA	76,3	82,1
CR	72,5	76,4
HA	66,4	85,5
JO	67,4	80,1
KA	71,9	73,4
LK	74,2	74,7
SB	82,9	81,4

Pausen 40 ms		
V_p	“Signal“ in Intervall 1 % vorhergesagt	“Signal“ in Intervall 2 % vorhergesagt
BA	66,3	76,6
CA	77,3	82,8
CR	75,0	74,2
HA	67,2	80,6
JO	69,7	80,9
KA	65,1	77,8
LK	74,3	71,7
SB	82,0	80,6

Pausen 100 ms		
V_p	“Signal“ in Intervall 1 % vorhergesagt	“Signal“ in Intervall 2 % vorhergesagt
BA	66,7	79,7
CA	74,2	78,7
CR	69,2	70,0
HA	67,7	80,0
JO	71,2	78,0
KA	64,1	82,5
LK	69,0	75,0
SB	73,5	77,9

Schätzung der Gewichte mittels logistischer Regression Die β -Koeffizienten jeder Versuchsperson finden sich im Anhang C1 (ab S. 245). Die meisten β -Koeffizienten sind signifikant von 0 verschieden. Dies zeigt, dass die Pegel in den meisten Segmenten für die Entscheidung der Versuchsperson eine signifikante Rolle spielen. Auch die meisten β_0 -Koeffizienten sind signifikant von 0 verschieden. Damit wird ein “bias“ im Antwortverhalten der Probanden signifikant. Das heißt, ein Reizintervall wird tendenziell bevorzugt, unabhängig von den Pegelstufen in diesem Intervall. Tendenziell wird die Antwort “Intervall 2 war lauter“ bevorzugt. Das machen die negativen β_0 -Koeffizienten in den Fällen “Signal in Intervall 1“ und die positiven β_0 -Koeffizienten in den Fällen “Signal in Intervall 2“ deutlich.

Abbildung 2.12 und Tabelle 2.7 geben die mittleren Gewichte und Standardfehler über acht Versuchspersonen gemeinsam in den drei Bedingungen wieder, wie sie aus der logistischen Regression resultieren. Hierzu werden wie unter der COSS-Analyse die β -Koeffizienten für jede Versuchsperson so normiert, dass sie in der Summe 1 ergeben, und anschließend über alle Versuchspersonen gemittelt. Es zeigt sich, dass der Verlauf den aus COSS-Analyse erhaltenen Gewichten sehr ähnlich ist und somit beide Verfahren als äquivalent für die Auswertung der vorliegenden Fragestellung angesehen werden können.

Tabelle 2.7: Mittlere Gewichte aus logistischer Regression über alle acht Versuchspersonen in den drei Bedingungen Pausen von 5 ms, 40 ms und 100 ms.

<i>Segment</i>	Pausen 5 ms		Pausen 40 ms		Pausen 100 ms	
	<i>mittl. Gew.</i>	<i>Std.f.</i>	<i>mittl. Gew.</i>	<i>Std.f.</i>	<i>mittl. Gew.</i>	<i>Std.f.</i>
1	0,1384	0,0373	0,1739	0,0196	0,1874	0,0188
2	0,1332	0,0083	0,1849	0,0094	0,1677	0,0160
3	0,1273	0,0066	0,1559	0,0070	0,1391	0,0117
4	0,1047	0,0091	0,1148	0,0051	0,0941	0,0126
5	0,0928	0,0091	0,0950	0,0079	0,1013	0,0082
6	0,0888	0,0097	0,0779	0,0092	0,0841	0,0103
7	0,0802	0,0092	0,0559	0,0057	0,0672	0,0081
8	0,0751	0,0093	0,0487	0,0090	0,0648	0,0113
9	0,0837	0,0066	0,0501	0,0074	0,0556	0,0178
10	0,0758	0,0114	0,0430	0,0098	0,0386	0,0159

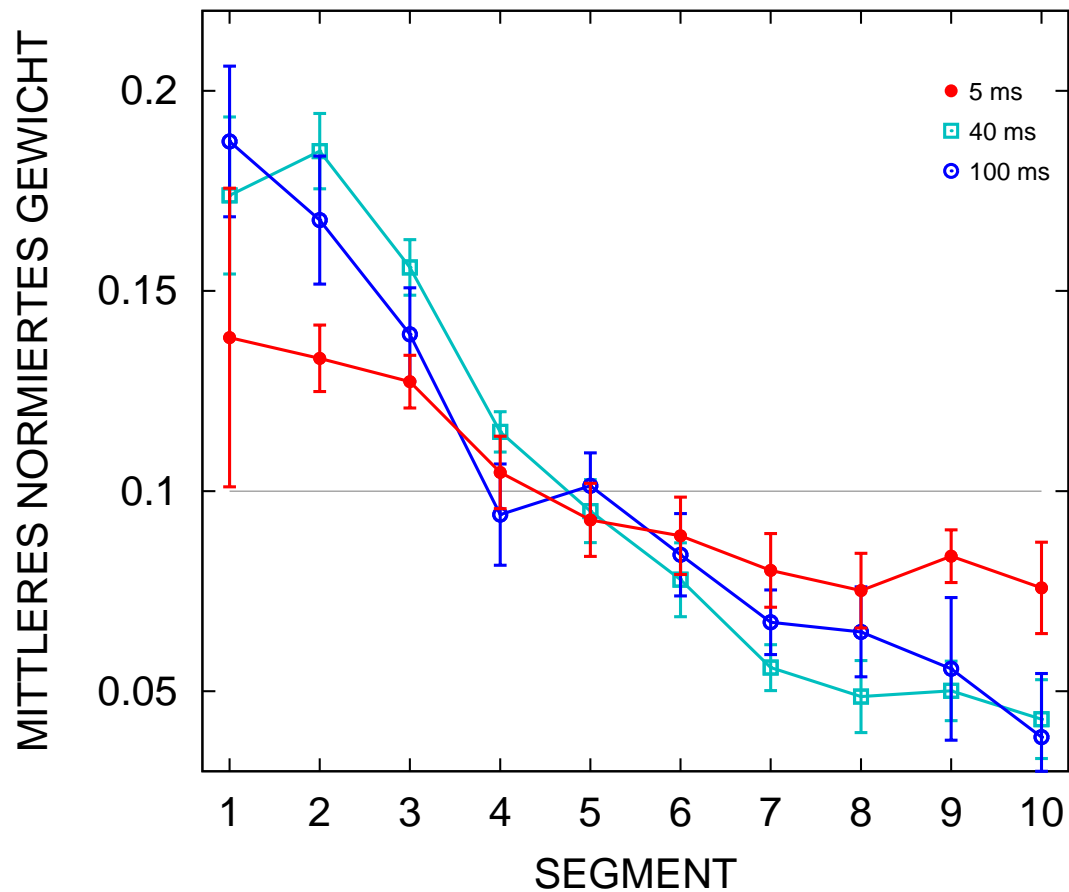


Abbildung 2.12: Mittlere Gewichte und Standardfehler über acht Versuchspersonen in den Bedingungen “Pausen 5 ms” (rot), “Pausen 40 ms” (grün) und “Pausen 100 ms” (blau), Ergebnisse aus logistischer Regression.

Das Gesamtmodell Um mittels logistischer Regression herauszufinden, ob sich verschiedene Versuchsbedingungen signifikant voneinander unterscheiden, werden alle vorhandenen Daten in einem Gesamtmodell getestet. Dadurch sollen Faktoren identifiziert werden, die in signifikanter Weise das Ergebnis einer “Signal“-Antwort beeinflussen.

Dieses Gesamtmodell kann durch folgende Gleichung beschrieben werden:

$$\begin{aligned}
 \ln\left(\frac{\hat{y}_k}{1-\hat{y}_k}\right) = & \beta_0 + \sum_{i=1}^{10} \beta_i x_{ki} \\
 & + \beta_{P5} x_{kP5} + \beta_{P40} x_{kP40} \\
 & + \sum_{i=1}^{10} \beta_{iP5} x_{ki} x_{kP5} + \sum_{i=1}^{10} \beta_{iP40} x_{ki} x_{kP40} \\
 & + \beta_{sig} x_{ksig} \\
 & + \sum_{i=1}^{10} \beta_{isig} x_{ki} x_{ksig} \\
 & + \varepsilon_k
 \end{aligned} \tag{2.21}$$

mit:

β_0 : Konstante

β_i : Koeffizient der i -ten unabhängigen Variablen x_{ki} ($i \in I$), in diesem Falle steht jedes i wieder für ein Zeitsegment.

x_{ki} : Ausprägung der i -ten unabhängigen Variablen ($i \in I$) im k -ten Durchgang ($k \in K$), wobei x_{ki} hier jeweils für die entsprechende Pegeldifferenz im i -ten Zeitsegment zwischen “Signal“ und “Noise“ steht.

β_{P5} : Koeffizient der Dummy-Variablen x_{kP5} für den Faktor “Pause 5 ms“. Die Variablen x_{kP5} nehmen den Wert 1 an, wenn die Bedingung “Pause 5 ms“ vorliegt, sonst den Wert 0.

β_{P40} : Koeffizient der Dummy-Variablen x_{kP40} für den Faktor “Pause 40 ms“. Die Variablen x_{kP40} nehmen den Wert 1 an, wenn die Bedingung “Pause 40 ms“ vorliegt, sonst den Wert 0.

Liegt die Bedingung “Pause 100 ms“ vor, nehmen x_{kP5} und x_{kP40} den Wert 0 an.

β_{sig} : Koeffizient der Dummy-Variablen x_{ksig} für den Faktor “Signal in Intervall 1“.

Die Variablen x_{ksig} nehmen den Wert 1 an, wenn die Bedingung “Signal in Intervall 1“ vorliegt. Liegt “Signal in Intervall 2“ vor, nehmen sie den Wert 0 an.

β_{iP5} : Koeffizienten für die Interaktion zwischen “Pause 5 ms“ und der Pegeldifferenz in den I Zeitsegmenten.

β_{iP40} : Koeffizienten für die Interaktion zwischen “Pause 40 ms“ und der Pegeldifferenz in den I Zeitsegmenten.

β_{isig} : Koeffizienten für die Interaktion zwischen “Signal in Intervall 1“ und der Pegeldifferenz in den I Zeitsegmenten.

ε_i : Störterm

I : Menge der Zeitsegmente

K : Menge der Durchgänge

Ergebnisse aus diesem Gesamtmodell Die Tabelle 2.8 zeigt die Ergebnisse aus diesem Gesamtmodell aus logistischer Regression.

Die β -Koeffizienten der Pegeldifferenzen in den Segmenten 1 bis 10 (β_1 bis β_{10}) werden signifikant. Die Haupteffekte der Bedingungen “Pause 5 ms“ (β_{P5}) und “Pause 40 ms“ (β_{P40}) werden nicht signifikant. Es zeigt sich also hinsichtlich dieser Bedingungen im Vergleich mit der Referenzkategorie “Pause 100 ms“ kein signifikanter Einfluss auf das Antwortverhalten. Betrachtet man jedoch die Vorzeichen der β -Koeffizienten der Interaktionen der Bedingung “Pause 5 ms“ mit den Zeitsegmenten (β_{1P5} bis β_{10P5}), so ist zu beobachten, dass diese für die ersten Segmente z.T. signifikant negativ sind, während sie für spätere Segmente signifikant positiv werden. Dieser Verlauf spiegelt die Lage der Gewichtsfunktion (Abb. 2.12) für die Bedingung “Pause 5 ms“ wider, die zunächst unter den beiden anderen Gewichtsfunktionen und später darüber verläuft. Das deutet deren tendenziell flacheren Verlauf an. Das Muster der Vorzeichen der β -Koeffizienten bei den Interaktionen der Bedingung “Pause 40 ms“ mit den Zeitsegmenten (β_{1P40} bis β_{10P40}) verläuft genau entgegengesetzt. Auch der Haupteffekt “Signal in Intervall 1“ wird signifikant, die Interaktionen mit den zehn Zeitsegmenten jedoch

Tabelle 2.8: Ergebnisse aus dem Gesamtmodell aus logistischer Regression für Experiment 1

	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value		β -Koeffizient	Std.fehler	p-value
β_0	0,286	0,028	< 0,001	β_{sig}	-0,614	0,029	< 0,001
β_1	0,167	0,008	< 0,001	β_{1sig}	-0,004	0,008	0,596
β_2	0,143	0,007	< 0,001	β_{2sig}	0,000	0,007	0,954
β_3	0,129	0,007	< 0,001	β_{3sig}	-0,012	0,007	0,100
β_4	0,082	0,007	< 0,001	β_{4sig}	-0,005	0,007	0,459
β_5	0,096	0,007	< 0,001	β_{5sig}	-0,007	0,007	0,359
β_6	0,071	0,007	< 0,001	β_{6sig}	0,001	0,007	0,928
β_7	0,065	0,007	< 0,001	β_{7sig}	-0,010	0,007	0,168
β_8	0,068	0,007	< 0,001	β_{8sig}	-0,020	0,007	0,007
β_9	0,056	0,007	< 0,001	β_{9sig}	-0,009	0,007	0,240
β_{10}	0,040	0,007	< 0,001	β_{10sig}	-0,009	0,007	0,239
β_{P5}	0,042	0,035	0,232	β_{P40}	0,032	0,035	0,365
β_{1P5}	-0,031	0,009	0,001	β_{1P40}	0,002	0,009	0,830
β_{2P5}	-0,008	0,009	0,399	β_{2P40}	0,038	0,009	< 0,001
β_{3P5}	0,008	0,009	0,368	β_{3P40}	0,031	0,009	0,001
β_{4P5}	0,032	0,009	< 0,001	β_{4P40}	0,035	0,009	< 0,001
β_{5P5}	0,006	0,009	0,519	β_{5P40}	0,005	0,009	0,612
β_{6P5}	0,022	0,009	0,012	β_{6P40}	0,010	0,009	0,263
β_{7P5}	0,024	0,009	0,007	β_{7P40}	-0,002	0,009	0,784
β_{8P5}	0,022	0,009	0,015	β_{8P40}	-0,005	0,009	0,603
β_{9P5}	0,036	0,009	< 0,001	β_{9P40}	0,002	0,009	0,827
β_{10P5}	0,047	0,009	< 0,001	β_{10P40}	0,010	0,009	0,254

nicht. Das spiegelt wieder die allgemeine Tendenz der Versuchspersonen wider, Intervall 2 als das lautere zu wählen, unabhängig von den tatsächlichen Pegeldifferenzen.

2.4 Diskussion

Die Ergebnisse bestätigen frühere Befunde (Namba et al., 1976; Ellermeier & Schrödl, 2000; Schrödl, 2001; Werner, 2002), dass bei der Integration der Lautheit nicht alle zeitlichen Komponenten in gleicher Weise Berücksichtigung finden. Es zeigt sich in der vorliegenden Untersuchung ein starker “Primacy-Effect“. Dieser tritt zwar unabhängig von der Gesamtdauer der Reizintervalle (245 ms, 560 ms, 1100 ms) auf, ist jedoch bei kürzerer Integrationszeit (Pausen von 5 ms) schwächer ausgeprägt. Die statistische Auswertung des Gesamtmodells mittels logistischer Regression ergab, dass die Gewichtsfunktion für die Bedingung “Pause 5 ms“ für das erste Segment signifikant unter den Gewichten der beiden längeren Bedingungen liegt, für die letzten Segmente 7 bis 10 signifikant über den Gewichten der beiden anderen Bedingungen. Diese flachere Gewichtung bei kürzerer Gesamtreizdauer ähnelt den Ergebnissen von Schrödl (2001), wo auch die Lautheitsintegration über eine Gesamtreizdauer von 200 ms ein flacheres Gewichtungsmuster aufwies als die Lautheitsintegration über 1000 ms. Da Anzahl und Dauer der zu integrierenden diskreten Schallereignisse in der vorliegenden Untersuchung für alle drei Gesamtreizdauern gleich waren (Rauschimpulse von 20 ms), muss dieser Effekt von der Gesamtreizdauer abhängen und stützt daher die in der Einleitung genannte Hypothese 1.

Dieses Gewichtsmuster ist jedoch nicht bei allen Versuchspersonen gleich stark ausgeprägt. Die Versuchspersonen HA, KA, LK und SB entsprechen dem beschriebenen Muster am ehesten (siehe Abbildung 2.10). Die Gewichtsfunktion für Bedingung “Pausen 5 ms“ verläuft bei diesen Probanden deutlich flacher als die beiden übrigen Gewichtsfunktionen. Bei den Versuchspersonen CA, CR und JO unterscheiden sich demgegenüber die Gewichte in den drei Bedingungen kaum. Und Versuchsperson BA zeigt schließlich eine völlig andere Strategie. Am flachsten sind hier die Rauschimpulse gewichtet, die 100 ms auseinanderlagen. Stattdessen zeigt die Bedingung mit der kürzesten Gesamtreizdauer einen deutlichen “Primacy-Effect“.

Geht man von der These des 150-200 ms langen Integrationsfensters aus (“energy detection model“, z.B. Green, 1960; “sliding temporal window of integration“, Näätänen, 1992), so fallen bei kurzen Pausen mehr Rauschimpulse in ein Zeitfenster, die zu

einem Ereignis gruppiert werden, als bei längeren Pausen. Auf diese Weise sind weniger Einheiten im Gedächtnis zu speichern. Das sollte die Diskrimination erleichtern. Diese Erklärung ist auch konsistent mit den Ergebnissen: 6 von 8 Versuchspersonen erzielten in der Bedingung “Pausen 5 ms“ die meisten richtigen Antworten, und zwar CA, CR, HA, KA, LK und SB (siehe Tabelle 2.3). Versuchsperson BA erzielte demgegenüber in der Bedingung “Pausen 100 ms“ die besten Ergebnisse, d.h. in der Bedingung, in der sie alle Rauschimpulse am gleichmäßigsten gewichtete.

Es lässt sich nun noch genauer prüfen, wie die Gewichtungsstrategien der Versuchspersonen mit ihrer jeweiligen Diskriminationsleistung zusammenhängen. Hierzu ist anzumerken, dass im vorliegenden Experiment nicht die Aufgabe war, z.B. einen Reiz zu entdecken, sondern die empfundene Gesamtlautheit eines Reizes zu bestimmen. Hierfür gibt es im Prinzip keine festgelegte Gewichtungsstrategie, da der Lautheitseindruck immer subjektiv ist. Dennoch war es aufgrund der Konstruktion der Reize wahrscheinlicher, einen Signalreiz richtig zu erkennen, wenn man alle Komponenten tendenziell gleich gewichtete. Denn die Pegel aller Segmente waren unabhängig voneinander aus einer Normalverteilung gezogen und trugen somit gleichwertige Information. Die Information aus allen Segmenten gleichermaßen zu nutzen, sollte demnach die Wahrscheinlichkeit einer richtigen Antwort erhöhen und demzufolge die - objektiv gesehen - *optimale* Strategie sein. Die Untersuchung von Pedersen & Ellermeier (2004) hat gezeigt, dass Versuchspersonen lernen können, eine solche Strategie annähernd zu verfolgen, wenn ihnen Trial-by-trial Feedback gegeben wird. Die Autoren konnten nachweisen, dass in einer Bedingung mit Trial-by-Trial Feedback die Gewichtungsmuster tendenziell flacher waren als in der Bedingung ohne Trial-by-trial Feedback.

Betrachtet man die Diskriminationsleistung (“Prozent korrekt“) der Versuchspersonen in Abhängigkeit der jeweiligen Summe der Abweichungen jedes einzelnen Gewichtes vom Idealgewicht 0.1, so ergibt sich das Muster in Abbildung 2.13.

Es resultiert ein negativer linearer Zusammenhang, was die These stützt, dass sich mit zunehmender Abweichung von den Idealgewichten die Diskriminationsleistung verschlechtert. Diese Tendenz zeigt sich recht gut für die Bedingungen “Pausen 5 ms“ (rot) und “Pausen 40 ms“ (grün). Nicht so einheitlich ist das Bild für die dritte

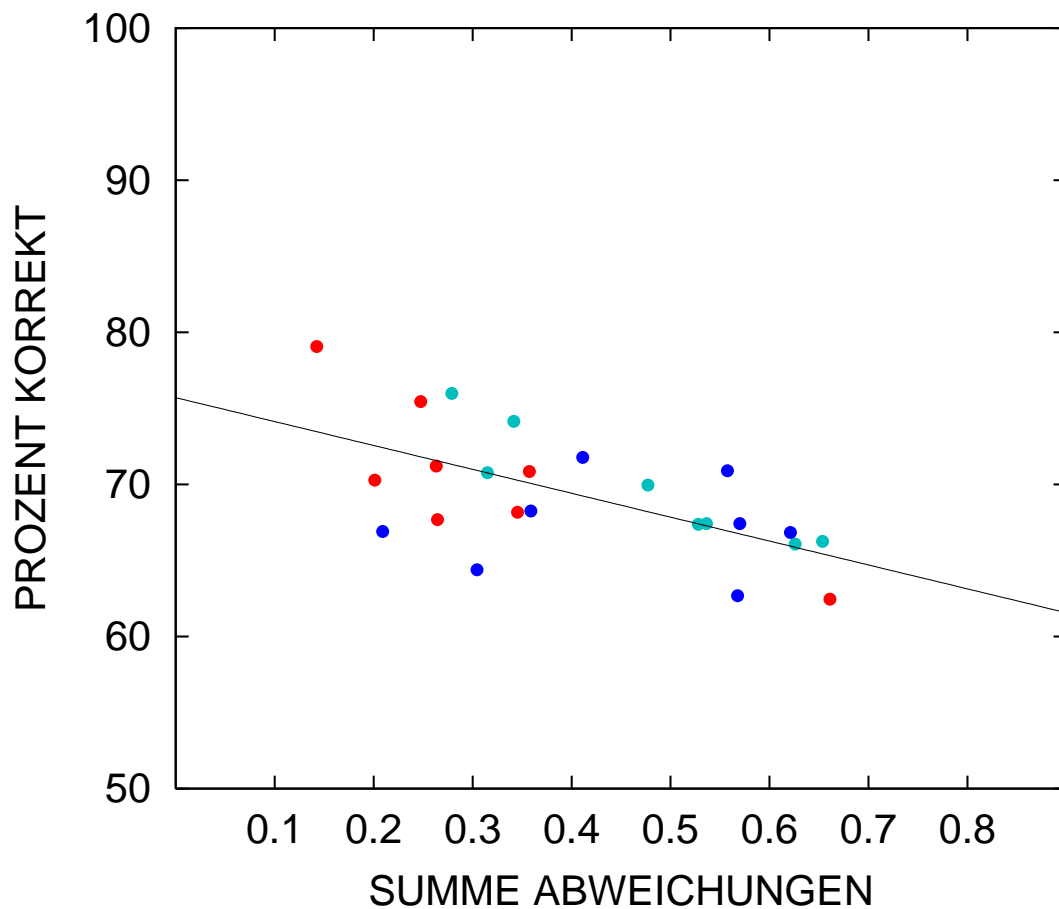


Abbildung 2.13: Diskriminationsleistung ("Prozent korrekt") aller Versuchspersonen, abgetragen in Abhängigkeit von der Summe der Abweichungen der individuellen Gewichte vom Idealgewicht 0,1; rot steht für die Ergebnisse Bedingung "Pausen 5 ms", grün für Bedingung "Pausen 40 ms", blau für Bedingung "Pausen 100 ms".

Bedingung "Pausen 100 ms" (blau). Es hat den Anschein, als würden Versuchspersonen umso mehr davon profitieren, alle vorhandene Information zu nutzen, je zeitlich näher diese beieinander liegt. Je größer die zeitliche Verteilung der Information ist, und deshalb auch je einfacher die Einzelkomponenten zeitlich aufzulösen und zu verarbeiten sind, desto weniger Information wird offensichtlich zur Lösung der Aufgabe genutzt.

Spricht man in diesem Zusammenhang von einer "Strategie" der Versuchspersonen, so ist anzumerken, dass nur für den Fall der Pausendauer von 100 ms, und eingeschränkt

noch für den Fall der Pausendauer von 40 ms, von einem bewussten, kognitiven Vorgehen gesprochen werden kann. Hier waren die Rauschimpulse noch als einzelne Reizereignisse zeitlich auflösbar und interpretierbar. Diese kognitive Beteiligung (=Auflösung) scheint aber bei der Aufgabe eher hinderlich als förderlich zu sein, da zu beobachten ist, dass die beiden Lautheitsverteilungen für die meisten Teilnehmer umso schwieriger zu unterscheiden waren, je länger die Zeitspanne wird, über die integriert werden muss.

Die tendenziell flachere Gewichtung der Zeitsegmente in der Bedingung mit kurzen Pausen (5 ms) könnte, wie auch schon bei Schrödl (2001), darauf hinweisen, dass es bei nur 20 ms kurzen Zeitsegmenten, die rasch aufeinander folgen, bzw. wie bei Schrödl (2001) nahtlos aneinander gereiht sind, nicht möglich ist, einzelnen Segmenten selektiv unabhängige Gewichte zuzuweisen, da die Auflösungsfähigkeit des Gehörs hierfür nicht ausreicht. Es könnte sein, dass es der bewussten Wahrnehmung der Pegeländerungen bedarf, damit Einzelsegmente individuell und unabhängig von den unmittelbar benachbarten Segmenten gewichtet werden. Diese Frage ist jedoch durch Experiment 1 noch nicht zu entscheiden, denn bei der Aufgabe der Lautheitsintegration war es nicht notwendig, einzelne Segmente individuell zu gewichten. Eine andere Aufgabenstellung könnte zu anderen Ergebnissen führen. Daher soll Experiment 2 klären, wie gut Versuchspersonen in der Lage sind, Gewichtungsstrategien je nach Aufgabenstellung anzupassen, auch wenn Einzelkomponenten in einem so geringen zeitlichen Abstand wie 20 ms aufeinander folgen.

Kapitel 3

Experiment 2

3.1 Entdeckung einer Intensitätsspitze in zeitlichen Lautheitsprofilen

Ziel der zweiten Untersuchung ist, Hinweise darauf zu erhalten, wie flexibel das auditive System auf Änderungen in der Aufgabenstellung reagieren kann. Sind Versuchspersonen in der Lage, die Strategien anzupassen, nach denen sie die dargebotene akustische Information für die jeweilige Aufgabe nutzen? Insbesondere interessiert, ob einzelne Reizkomponenten auch bei sehr schnellen zeitlichen Änderungen selektiv gewichtet werden können.

Wie beschrieben wurden bei Lautheitsintegrationsaufgaben mit schnellen Pegelfluktuationen (ca. 40 bis 50 Hz) die einzelnen Zeitsegmente, über die integriert werden musste, flacher gewichtet als bei langsameren Fluktuationen (ca. 9 bis 10 Hz) (siehe Ellermeier & Schrödl, 2000; Schrödl, 2001; sowie Experiment 1).

Bei der Integration der Lautheit über die Zeit war es jedoch noch nicht notwendig, einzelne Komponenten selektiv und unabhängig voneinander zu gewichten.

Will man nun explizit untersuchen, ob es für einen Hörer möglich ist, Einzelsegmente von nur 20 ms Dauer (oder kürzer) selektiv zu nutzen, wenn diese ohne Pause aneinandergereiht sind, so muss die gestellte Aufgabe so verändert werden, dass selektive Nutzung von Einzelkomponenten unabdingbar für ihre Lösung ist. Hierfür wurden *Lautheitsprofile* konstruiert. Eine Profilaufgabe, in der gerade nur bestimmte einzelne

zeitliche Segmente im Reiz die Information tragen, auf die es ankommt, kann zeigen, wie selektiv und effizient das auditive System schnell aufeinander folgende Pegelinformation wirklich nutzen kann.

In Experiment 2 ist zunächst ein “Lautheitsprofil“ mit einer Intensitätsspitze in der Mitte des Reizes von einem “flachen“ Profil, also einem solchen ohne Intensitätsspitze, zu unterscheiden. Es werden, analog zu Experiment 1, Reize aus 100 ms-Komponenten und 20 ms-Komponenten konstruiert. Sollte die Auflösungsfähigkeit des Gehörs es nicht erlauben, 20 ms-Komponenten individuell hinsichtlich ihrer Pegelinformation zu analysieren, müsste sich das in den Gewichtsfunktionen zeigen. Es dürften sich für die kurzen Segmente dann keine Gewichte ergeben, die zeitlich präzise ein Segment herausgreifen und selektiv anders gewichten als unmittelbare Nachbarsegmente. Die folgende Graphik (Abb. 3.1) gibt für diese Aufgabe optimale Gewichte (durchgezogene Linie) an, im Vergleich zu hypothetischen Gewichten, die dann resultieren sollten, wenn die Auflösungsfähigkeit des Gehörs für eine selektive Gewichtung einzelner Reizkomponenten nicht ausreicht. Im Gewichtsmuster sollte sich dann eine Art “Buckel“ um das Zeitsegment bilden, für das die Intensitätsspitze erwartet wird (gestrichelte Linie). Oder die Aufgabe könnte sogar unlösbar werden, wenn die zeitliche Auflösungsfähigkeit nicht ausreicht, ein Inkrement auf einem Segment von nur 20 ms Dauer zu entdecken.

Im Gegensatz zu Experiment 1 ist nun nicht alle gegebene Information im Reiz gleich relevant für die Lösung der Aufgabe. Einige Autoren (siehe z.B. Stellmack & Viemeister, 2000; Lutfi, 1992) postulieren, dass bei optimaler Nutzung der Information Reizkomponenten, die keine aufgabenspezifische Information tragen, Gewichte von 0 erhalten sollten. Dieser Auffassung folgt die Darstellung in Abbildung 3.1: wird die Summe der Gewichte auf 1 normiert, so erhält bei optimaler Gewichtung das 6. Segment ein Gewicht von 1, die restlichen irrelevanten Segmente Gewichte von 0. Berg & Green (1990) vertreten eine andere Auffassung bezüglich der optimalen Gewichtung für eine Profilaufgabe. Bezeichnet man das Segment mit Intensitätsspitze als Signalkomponente, die restlichen Segmente als Nicht-Signalkomponenten oder Kontextkomponenten im Reizintervall, so wäre eine Gewichtung optimal, die der Signalkomponente ein Gewicht von 1 und den Nicht-Signalkomponenten negative Gewichte zuweist, die relativ zueinander gleich groß sind $(-1/[n - 1])$. Die Variable n steht hier für die Anzahl von Komponenten im Reizintervall. Diese negativen

Gewichte spiegeln laut Berg & Green (1990) die Annahme wider, dass eine Versuchsperson innerhalb eines Reizintervalles Vergleiche zwischen Signalkomponente und Kontextkomponenten vornimmt. Die verschiedenen Konzepte “idealer Gewichte“ werden zu diskutieren sein.

Durch das Auftreten irrelevanter Information in Experiment 2 kommt ein Problem ins Spiel, das in der Literatur häufig als “Informational Masking“ bezeichnet wird (z.B. Pollack, 1975; Watson et al., 1976; Watson, 1987; Durlach et al., 2003). “Informational Masking“ beschreibt allgemein die Störwirkung, die Kontextkomponenten auf die Entdeckbarkeit oder Unterscheidbarkeit einer Zielkomponente in einem komplexen Schall haben und die nicht allein durch deren Energie verursacht wird (“Energetic masking“), sondern durch die zusätzliche Information, die die Kontextkomponenten geben, die für die Aufgabe aber irrelevant ist und deshalb störend wirkt (Leek et al., 1991). Die komplexen Schalle können sowohl spektrale Profile (simultane Maskierung), als auch Sequenzen (z.B. Tonmuster; sequenzielle Maskierung) sein. Der Grad des “Informational Masking“ kann durch die Varianz der Kontextkomponenten (“stimulus uncertainty“) und die Ähnlichkeit zwischen Zielkomponente und Kontextkomponenten beeinflusst sein, wobei jedoch auch individuelle Versuchspersonenunterschiede eine relativ große Rolle spielen können (Durlach et al., 2003).

Watson et al. (1975, 1976) untersuchten die Unterscheidung von Sequenzen bestehend aus zehn Tönen von 40 ms Dauer, die von Durchgang zu Durchgang zufällig variierten. Jeweils ein Ton in der Sequenz wurde zufällig verändert (in Frequenz, Intensität oder Dauer), und Versuchspersonen mussten in einer Gleich-Verschieden-Aufgabe entscheiden, ob sie zwei identische oder unterschiedliche Tonmuster gehört hatten. Die Autoren konnten zeigen, dass Unterschiede in späteren Sequenzkomponenten und höheren Frequenzen leichter entdeckt wurden als Unterschiede in frühen Sequenzkomponenten und tiefen Frequenzen. In weiteren Experimenten (Watson et al., 1976; Watson & Kelly, 1981) konnte gezeigt werden, dass die Unterscheidungsleistung systematisch mit dem Grad der Varianz der Kontextkomponenten zusammenhing. Ist das Tonmuster in jedem Durchgang gleich und ändert sich nur der Zielton, so können Versuchspersonen Änderungen im Zielton nach einigem Training genauso gut entdecken wie bei alleiniger Darbietung eines Zieltons ohne Kontext. Dagegen erhöhten sich Unterschiedsschwellen weiter, wenn bei Versuchspersonen neben der

Varianz der Kontexttöne auch Unsicherheit über die Dimension (Frequenz, Intensität, Dauer) und über die zeitliche Position bestand, die verändert sein konnten.

Lutfi (1992) replizierte die Ergebnisse von Watson et al. (1975, 1976) mit 30 ms langen Tönen in zehnkomponentigen Sequenzen und vier Versuchspersonen und berechnete Gewichte als Maß für den Einfluss jeder einzelnen Komponente auf die Entscheidung einer Versuchsperson. Gewichte > 0 auf Kontextkomponenten können demnach auf den Einfluss von “Informational Masking“ hinweisen. Für Tonmuster, bei denen sich die Komponenten nicht in der Frequenz, sondern nur im Pegel unterschieden und die deshalb für die vorliegende Untersuchung besonders interessant sind, erhielt Lutfi individuelle Gewichte auf den 30 ms-Einzelsegmenten. Die Zielkomponente war der 6. Ton in der Sequenz. Die Standardabweichungen der untersuchten Pegelverteilungen, aus denen die Kontexttöne und der Zielton stammen konnten, variierten in drei Bedingungen ($\sigma = 1, 5$ oder 10 dB SPL). In Abhängigkeit vom Verhältnis der Standardabweichungen zwischen Zielton und Kontexttönen ergab sich ein mehr oder weniger klares Gewichtsmuster. Nur bei einem Verhältnis der Standardabweichungen > 1 erhielt die Zielkomponente 6 ein deutlich höheres Gewicht als die Kontextkomponenten. In den anderen Fällen waren die Gewichtsfunktionen deutlich flacher.

In Experiment 2 dieser Arbeit interessierte nun ebenfalls, welche Gewichtung sich bei der Entdeckung einer Intensitätsspitze in der zeitlichen Mitte eines Reizintervalls ergeben würde. Es wurde weißes Rauschen dargeboten, das in zehn Zeitsegmenten zufällig im Pegel fluktuierte. Analog zu Experiment 1 wurde zwischen “Signal“- und “Noise“-Intervallen unterschieden, wobei sich ein Signal-Intervall nun durch eine zusätzliche Intensitätsspitze von 4 dB auf dem 6. Zeitsegment auszeichnete. Es wurden analog zu Schrödl (2001) zwei Segmentdauern (100 ms und 20 ms) verwendet, um zu testen, ob auch im Falle sehr schneller Pegeländerungen einzelne zeitliche Komponenten selektiv gewichtet werden können, wenn die Aufgabe es verlangt.

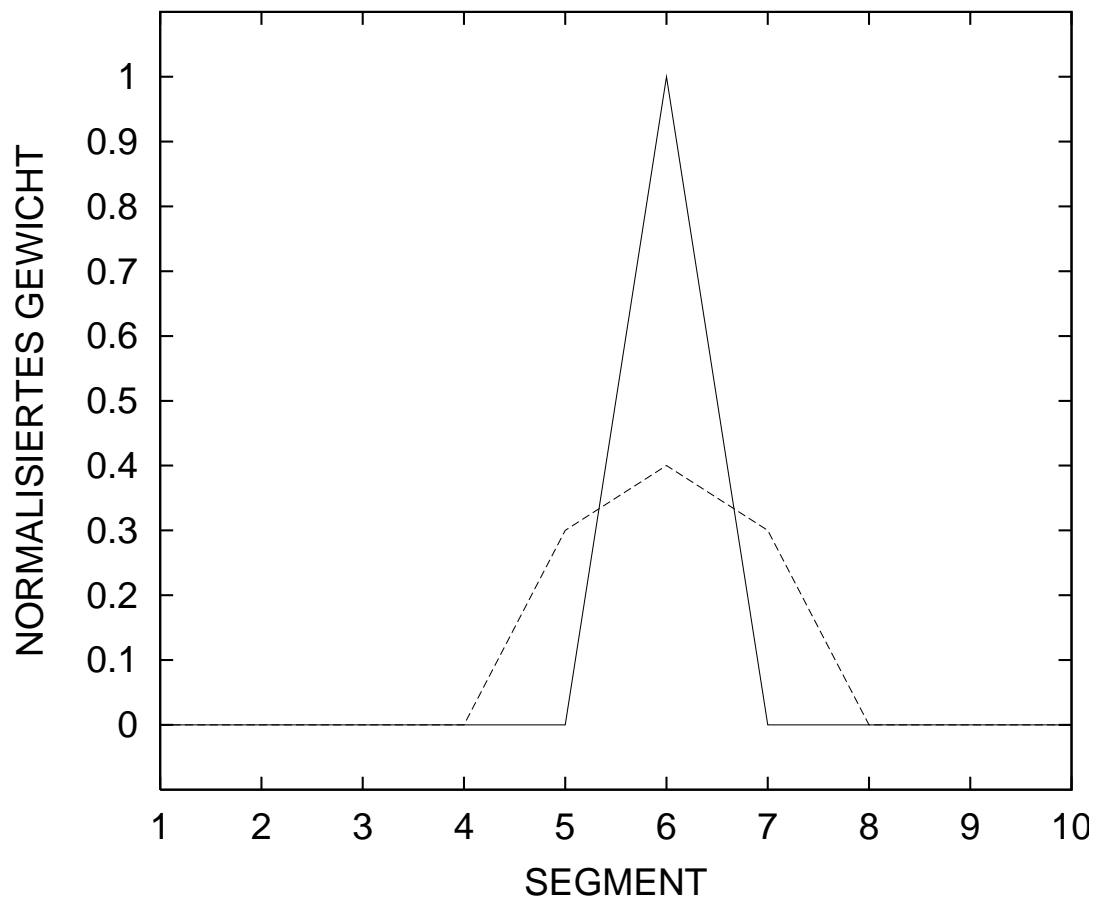


Abbildung 3.1: Hypothetische Gewichtsfunktionen für Experiment 2. Die durchgezogene Linie wäre zu erwarten, wenn Einzelkomponenten selektive Gewichte zugewiesen werden können. Sie wäre für diese Profilaufgabe optimal. Die gestrichelte, suboptimale Gewichtsfunktion wäre zu erwarten, wenn es Versuchspersonen nicht gelingen sollte, Einzelkomponenten selektiv zu nutzen. Zu erwarten wäre dann, dass aufgrund der beschränkten zeitlichen Auflösungsfähigkeit des Gehörs der gesamte mittlere Bereich des Reizes positiv gewichtet wird, wie die gestrichelte Funktion nahelegt.

3.2 Methode

3.2.1 Versuchspersonen

Die acht Teilnehmer (zwei männlich, sechs weiblich) in Experiment 2 waren zwischen 20 und 30 Jahren alt, mit einem Durchschnittsalter von 23,375 Jahren und einem Median von 22,5 Jahren. Sechs Versuchspersonen waren Psychologie-Studenten der Universität Regensburg im Grund- und Hauptstudium, denen für ihre Teilnahme Versuchspersonen- bzw. Forschungsstunden gemäß der Prüfungsordnung gutgeschrieben wurden. Bei den weiteren beiden Teilnehmerinnen handelte es sich um eine Studentin der Humanmedizin und die Versuchsleiterin. Der Hörtest mittels Screening-Audiometer (MADSEN ELECTRONICS MICROMATE 304D) stellte sicher, dass alle Teilnehmer Normalhörer waren. Es resultierten für alle Versuchspersonen Hörschwellen von 15 dB HL oder besser für reine Töne von 250 bis 8000 Hz. Mit Ausnahme der Versuchsleiterin (TP) hatten die Versuchspersonen keine Vorerfahrungen mit dieser Art von psychoakustischen Experimenten.

3.2.2 Versuchsanordnung

3.2.2.1 Apparatur

Die Erzeugung der Reize für Experiment 2 entsprach der für Experiment 1 (siehe Abschnitt 2.2.2.1 und Abbildung 2.1), mit der Ausnahme, dass das Signal hier nicht tiefpassgefiltert wurde, sondern ungefiltertes weißes Rauschen verwendet wurde. Eine Fourier-Analyse des elektrischen Signals zeigte, dass das Spektrum bis etwa 2,2 kHz flach war.

3.2.2.2 Reizmaterial

Jeder Reiz bestand aus zehn zeitlichen Segmenten, die zufällig im Pegel fluktuierten. Die Pegel der zehn Segmente wurden unabhängig voneinander aus einer Normalverteilung mit einem Mittelwert von $\mu = 62$ dB SPL und einer Standardabweichung von $\sigma = 2$ dB gezogen. Diese Werte wurden mittels Messung an einem künstlichen Ohr (Brüel & Kjær, Typ 2610), unter Zuhilfenahme eines Messverstärkers (Brüel & Kjær, Typ 4153) ermittelt. Die zehn Segmente waren ohne Unterbrechung aneinander gereiht.

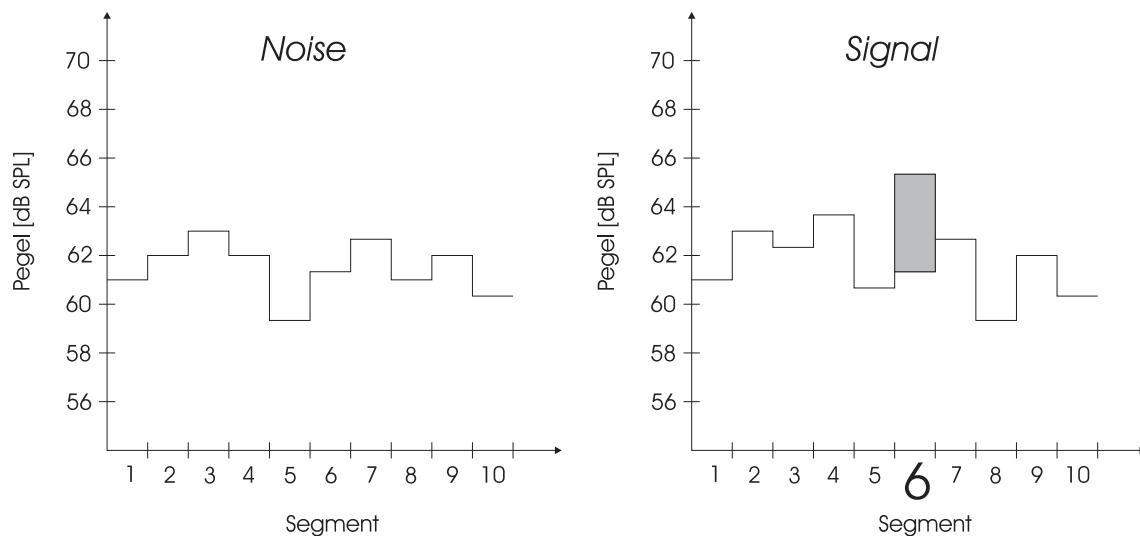


Abbildung 3.2: Schematische Darstellung der Reize in Experiment 2. Pegel von zehn Segmenten von Weißem Rauschen werden unabhängig voneinander aus einer Zufallsverteilung (NV: $\mu=62$ dB, $\sigma=2$ dB) gezogen. Die Reize wurden als "Signal" und "Noise" bezeichnet. Auf dem 6. Segment befand sich im "Signal"-Reiz eine Intensitätsspitze von 4 dB.

Das jeweils erste Zeitsegment war mit einer aufsteigenden Rampe von 2 ms versehen. Wie in Experiment 1 wurde auch hier zwischen "Signal"- und "Noise"-Reizen unterschieden. Der "Signal"-Reiz war dadurch gekennzeichnet, dass er auf dem 6. Segment eine zusätzliche Intensitätsspitze von 4 dB enthielt. Beim "Noise"-Reiz fehlte diese Intensitätsspitze. Zusätzlich wurde anschließend der Gesamtpegel der beiden Reize variiert, indem ein sog. "roving level"-Verfahren (Berg & Green, 1990) angewandt wurde. Dazu wurde der mittlere Pegel - separat für jedes der beiden Beobachtungsintervalle - noch einmal um einen Betrag verschoben, der zufällig aus einem Bereich von ± 10 dB um $\mu = 62$ dB gezogen wurde. Dadurch wurde es möglich, dass sich die Intensitätsspitze in einem beliebigen Durchgang im Reizintervall mit dem insgesamt niedrigeren Gesamtpegel befand. Bei der Gesamtdauer der Reize wurden zwei Bedingungen unterschieden. In Bedingung 1 betrug die Gesamtdauer eines Reizes 1000 ms. Ein Segment war also 100 ms lang. In Bedingung 2 betrug die Gesamtdauer eines Reizes 200 ms. Ein Einzelsegment hatte entsprechend eine Dauer von nur 20 ms. Die zeitliche Präzision wurde durch Messung mit einem Oszilloskop überprüft. Abbildung 3.2 zeigt eine schematische Darstellung der Reizsituation in Experiment 2.

3.2.3 Versuchsaufbau

3.2.3.1 Struktur eines Durchgangs

Das generierte Weiße Rauschen wurde in einem Two-Interval-Forced-Choice-Verfahren (2IFC) dargeboten. Es wurde in jedem Durchgang ein “Signal“- und ein “Noise“-Reiz präsentiert, unterbrochen von einem Inter-Stimulus-Intervall (ISI) von 1 s. Wie in Experiment 1 wurde das Abspielen eines jeden Reizes vom Aufleuchten einer roten Leuchtdiode auf dem Display vor der Versuchsperson begleitet. Die Reihenfolge, in der “Signal“- und “Noise“-Reize sich in jedem Durchgang im ersten oder zweiten Intervall befanden, war zufällig. Die Versuchsperson musste hier nun jeweils entscheiden, welcher von beiden Reizen die Intensitätsspitze enthielt. Da sich durch die Verwendung des “roving level“ die Intensitätsspitze auch in dem insgesamt leiseren Intervall befinden konnte, gab die Gesamtlautheit eines Reizes keinen Lösungshinweis. Die Aufgabe war durch einfachen Vergleich der Gesamtlautheiten der beiden Intervalle nicht korrekt zu lösen. Es musste das “Profil“ der Reize erkannt werden. Die Antwort gaben die Versuchspersonen durch Drücken einer der beiden Tasten an den Armlehnen ihres Sessels. Nach 500 ms folgte das nächste Reizpaar. Feedback erfolgte in jedem Durchgang. Das Aufleuchten einer gelben Leuchtdiode zeigte an, in welchem der beiden Intervalle tatsächlich der “Signal“-Reiz war.¹

3.2.3.2 Versuchsplan

In der ersten Sitzung wurde mit den Probanden der Hörtest durchgeführt und ihnen einige erste Übungsblöcke präsentiert, die die Teilnehmer mit der Aufgabe vertraut machen sollten. Diese Übungsblöcke gingen nicht in die Ergebnisse mit ein. Die Instruktion erfolgte schriftlich (siehe Anhang A2, S. 222), mit der Möglichkeit für die Probanden, Fragen zum Experiment zu stellen. Wenn sie angaben, dass ihnen die Aufgabenstellung klar war, absolvierte jede Versuchsperson sechs Übungsblöcke, drei in

¹Analog zu Experiment 1 zeigt das Feedback an, welches der beiden Intervalle das “Signal“, also den Reiz enthielt, der mit der Intensitätsspitze versehen worden war. Da die Pegel der einzelnen Zeitsegmente aus einer Zufallsverteilung mit $\mu = 62$ dB und $\sigma = 2$ dB gezogen wurden und die auf das 6. Segment gesetzte Intensitätsspitze 4 dB betrug, war es mit einer Wahrscheinlichkeit von 7,86 % möglich (siehe Berechnung im Anhang A1, Seite 219), dass der “Noise“-Reiz in einigen Durchgängen im 6. Segment einen höheren Pegel als im “Signal“-Reiz aufweisen konnte.

Bedingung 1 (Segmentdauer 100 ms) und drei in Bedingung 2 (Segmentdauer 20 ms). Ob zuerst die Übungsblöcke mit der “Segmentdauer 100 ms“ oder der “Segmentdauer 20 ms“ absolviert wurden, wurde zufällig entschieden. In jeder der beiden Bedingungen wurden die Probanden schrittweise an die Schwierigkeit der Aufgabenstellung bei der eigentlichen Datenerhebung herangeführt, indem die Größe der Intensitätsspitze immer weiter verringert wurde. Der erste Übungsblock mit 20 Durchgängen enthielt ein Inkrement von 8 dB. Beim zweiten Übungsblock mit 50 Durchgängen wurde es auf 6 dB verringert, um schließlich im dritten Übungsblock mit 100 Durchgängen 4 dB zu erreichen. Damit entsprach jeweils der dritte Übungsblock in jeder Bedingung genau der Reizdarbietung in der folgenden Experimentalsituation.

Während der eigentlichen Datenerhebung absolvierte jede Versuchsperson insgesamt 6400 Durchgänge, jeweils 3200 in Bedingung 1 (Segmentdauer 100 ms) und 3200 in Bedingung 2 (Segmentdauer 20 ms). Die Daten wurden in 16 Sitzungen erhoben. In jeder Sitzung absolvierten die Versuchspersonen 4 Blöcke mit jeweils 100 Durchgängen. Innerhalb einer Sitzung wechselte die Bedingung (“Segmentdauer 100 oder 20 ms“) nicht. Die Reihenfolge, in der Sitzungen mit Reizen mit “Segmentdauer 100 ms“ und “Segmentdauer 20 ms“ aufeinander folgten, wurde vollständig ausbalanciert, so dass sich nach folgendem Muster vier Gruppen ergaben:

1. ABBA BAAB ABBA BAAB
2. BAAB ABBA BAAB ABBA
3. ABBA BAAB BAAB ABBA
4. BAAB ABBA ABBA BAAB

Hierbei steht “A“ für Sitzungen mit “Segmentdauer 100 ms“ (Bedingung 1) und “B“ für Sitzungen mit “Segmentdauer 20 ms“ (Bedingung 2). Die Zuweisung einer der vier Reihenfolgen zu einer Versuchsperson erfolgte zufällig in der Weise, dass eine Reihenfolge jeweils zwei der acht Versuchspersonen zugeteilt war.

Zu Beginn jeder Sitzung wurde zusätzlich ein Übungsblock à 20 Durchgänge in der Bedingung der jeweiligen Sitzung präsentiert. Eine Sitzung dauerte in Bedingung 1 etwa 45 Minuten, in Bedingung 2 etwa 35 Minuten. Die Versuchspersonen hatten die Möglichkeit, nach jedem Block eine kurze Pause zu machen. Tabelle 3.1 gibt einen Überblick über den Versuchsplan des Experiments 2.

Tabelle 3.1: Überblick über den Versuchsplan für Experiment 2. Das Experiment war nach 17 Sitzungen abgeschlossen. Ab der zweiten Sitzung begann die Datenerhebung für das eigentliche Experiment mit jeweils 4 Experimentalblöcken (Exp.B) pro Sitzung. Übungsblöcke (ÜB) wurden in der ersten Sitzung, sowie zu Beginn jeder folgenden Sitzung absolviert.

	<i>Art des Blocks</i>	<i>Seg.dauer</i>	<i>Anz. Durchgänge</i>	<i>Intensitätsspitze</i>
Sitzung 1	ÜB 1	100 ms	20	8 dB
	ÜB 2	100 ms	50	6 dB
	ÜB 3	100 ms	100	4 dB
Sitzung 1	ÜB 1	20 ms	20	8 dB
	ÜB 2	20 ms	50	6 dB
	ÜB 3	20 ms	100	4 dB
	<i>Art des Blocks</i>	<i>Seg.dauer</i>	<i>Anz. Durchgänge</i>	<i>Intensitätsspitze</i>
Sitzung 2 bis 17	ÜB 1	100 od. 20 ms	20	4 dB
	Exp.B 1 bis 4	100 od. 20 ms	100	4 dB

3.3 Ergebnisse

3.3.1 Antwortgüte

Die durchschnittlichen Fehlerzahlen der acht Versuchspersonen pro Block mit 100 Durchgängen liegen zwischen 23,75 und 33,38 Fehlern (76,25 und 66,62 Prozent korrekt) für die Bedingung “Segmentdauer 100 ms“ und zwischen 31,75 und 38,13 Fehlern (68,25 und 61,87 Prozent korrekt) in der Bedingung “Segmentdauer 20 ms“.²

Die Tabelle 3.2 zeigt die mittleren, minimalen und maximalen Prozent-korrekt-Werte für jede Versuchsperson und Bedingung. Die Werte für die “Segmentdauer 20 ms“ liegen im Schnitt unter denen der Bedingung “Segmentdauer 100 ms“, was darauf hindeutet, dass die Aufgabe bei der Bedingung mit kürzerer Segmentdauer für die Versuchspersonen im Durchschnitt schwieriger war.

Die Abbildungen 3.3 zeigen die Entwicklung der Diskriminationsleistung über die Zeit für alle acht Versuchspersonen. Die gestrichelte Linie ist der jeweilige Durchschnittswert über alle acht Versuchspersonen und alle Blöcke. Die Abbildungen zeigen, dass kein Übungseffekt zu erkennen ist.

²Als “richtige“ Antwort wurde, analog zu Experiment 1, gezählt, wenn die Versuchsperson den “Signal“-Reiz richtig erkannt hatte. Dieser zeichnete sich durch eine Intensitätsspitze von 4 dB auf dem 6. Segment aus. Statistisch gesehen war es in 7,86 % der Fälle möglich, dass der Pegel des 6. Segmentes im “Signal“-Reiz niedriger war als im “Noise“-Reiz (siehe Berechnung im Anhang A1, Seite 219). In 3953 von 51200 Fällen (7,72 %) war der Pegel im 6. Segment des “Signal“-Reizes tatsächlich niedriger als im 6. Segment des “Noise“-Reizes.

Tabelle 3.2: Prozent-korrekt-Werte (PK) für alle acht Versuchspersonen in beiden Bedingungen "Segmentdauer 100 ms und 20 ms" in Experiment 2.

Segmentdauer 100 ms			
<i>Vp</i>	<i>mittl. PK</i>	<i>min. PK</i>	<i>max. PK</i>
AN	71,19	63	83
CH	71,16	61	79
KI	69,97	63	81
LI	66,62	56	76
MA	69,59	54	80
MI	76,25	71	89
ST	66,66	55	77
TP	71,34	64	80

Segmentdauer 20 ms			
<i>Vp</i>	<i>mittl. PK</i>	<i>min. PK</i>	<i>max. PK</i>
AN	65,94	57	77
CH	66,50	56	76
KI	63,50	56	79
LI	61,87	50	71
MA	68,25	57	78
MI	67,69	56	77
ST	66,50	57	73
TP	65,03	55	75

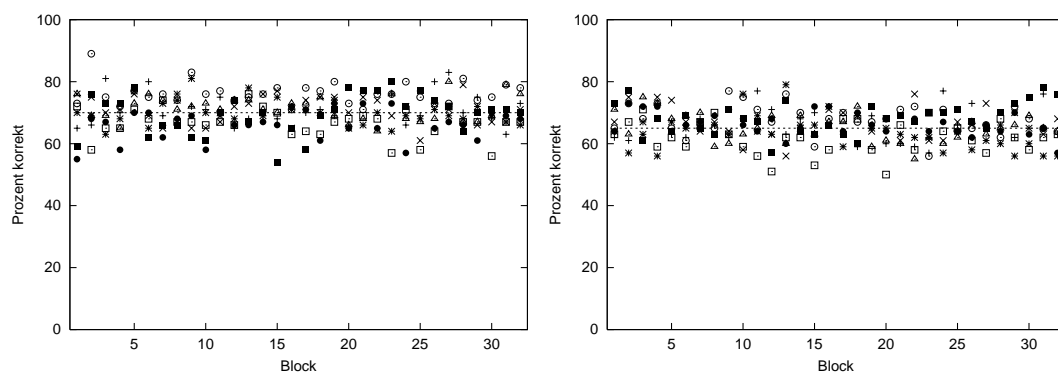


Abbildung 3.3: Prozent-korrekt-Werte über die Zeit für alle acht Versuchspersonen für "Segmentdauer 100 ms" (links) und "Segmentdauer 20 ms" (rechts). Jedes Symbol steht für eine Versuchsperson. Die gestrichelte Linie zeigt den jeweiligen Durchschnittswert über alle acht Versuchspersonen und alle Blöcke.

3.3.2 Gewichtsschätzung

3.3.2.1 COSS-Analyse

Die Logik der COSS-Analyse muss für diesen Fall der zeitlichen Profilanalyse modifiziert werden. Die folgenden Abschnitte zeigen, an welchen Stellen diese Modifizierungen nötig sind.

Theoretischer Hintergrund - COSS-Modell für Experiment 2 Auch im vorliegenden Experiment wurden die Reizkomponenten (x_i) mit zufälligen Perturbationen versehen. Die Aufgabe des Beobachters bestand nun darin zu beurteilen, welcher der beiden Reize eine Intensitätsspitze enthielt. Die Gewichte a_i geben wieder den relativen Einfluss an, den jedes Zeitsegment x_i auf das abgegebene Urteil hatte. Die Wahrnehmung eines der beiden Intervalle als Gesamtreiz lässt sich wieder als gewichtete Summe beschreiben: $\sum a_i(x_i + L)$. Der Zusatz L beschreibt die zufällige Verschiebung des Gesamtpegels eines jeden Reizes durch das verwendete “roving level“-Paradigma. Die Adaptation der COSS-Methode für einen Fall der spektralen Profilanalyse mit “roving level“ wurde bereits in Berg & Green (1990) vorgenommen. Die folgende Darstellung folgt daher dieser Adaptation und passt sie entsprechend den Gegebenheiten im vorliegenden Experiment 2 (zeitliche Profilanalyse) an.

Eine Versuchsperson wird sich in der vorliegenden Aufgabe dann für die Antwort “Intervall 1 enthielt die Intensitätsspitze“ entscheiden, wenn die folgende Beziehung gilt:

$$\sum_{i=1}^n a_i(x_{1i} + L_1) > \sum_{i=1}^n a_i(x_{2i} + L_2) \quad (3.1)$$

L_1 und L_2 stehen hier für die zufällige Verschiebung des Gesamtpegels des jeweiligen Reizes in Intervall 1 und davon unabhängig in Intervall 2 im Rahmen des “roving level“-Paradigmas. Da der jeweilige Gesamtpegel alle Segmente eines Reizes gleichermaßen betrifft, fehlt bei L_1 und L_2 der Index i .

Die Reize bestanden auch in diesem Experiment aus zehn Komponenten ($n = 10$) und die Pegel der Komponenten x_i waren wieder unabhängig aus einer Normalverteilung gezogen, und zwar diesmal für “Signal“ und “Noise“ aus der gleichen Normalverteilung ($\mu=62$ dB, $\sigma=2$ dB). Der Unterschied zwischen “Signal“ und “Noise“ zeigte sich

in diesem Fall durch eine Intensitätsspitze von 4 dB auf dem 6. Segment des “Signal“-Reizes.

Um zur Schätzung der psychometrischen Funktionen zu gelangen, muss die Ungleichung (3.1) so umgeformt werden, dass die Komponente $(x_{1i} - x_{2i})$ auf der linken Seite isoliert wird.

Hierbei muss zwischen den Fällen $a_i > 0$ und $a_i < 0$ unterschieden werden:

Für $a_i > 0$ gilt:

$$x_{1i} - x_{2i} > \frac{\sum_{j \neq i}^{10} a_j (x_{2j} - x_{1j}) + \sum_{i=1}^{10} a_i (L_2 - L_1)}{a_i} \quad (3.2)$$

Für $a_i < 0$ gilt:

$$x_{1i} - x_{2i} < \frac{\sum_{j \neq i}^{10} a_j (x_{2j} - x_{1j}) + \sum_{i=1}^{10} a_i (L_2 - L_1)}{a_i} \quad (3.3)$$

Zur Vereinfachung wird auch hier Y_i als neue Zufallsvariable eingeführt, die der rechten Seite der Ungleichungen (3.2) und (3.3) entspricht:

$$Y_i := \frac{\sum_{j \neq i}^{10} a_j (x_{2j} - x_{1j}) + \sum_{i=1}^{10} a_i (L_2 - L_1)}{a_i} \quad (3.4)$$

Die Verteilung von Y_i hängt hier nun nicht nur von der Verteilung von $x_{2j} - x_{1j}$ ab, sondern auch von der Verteilung von $L_2 - L_1$. L_2 und L_1 sind jeweils gleichverteilt, die Differenz $L_2 - L_1$ besitzt demnach eine Dreiecksverteilung. Deshalb kann angenommen werden, dass Y_i approximativ normalverteilt ist mit

$$E(Y_i) = \frac{\sum_{j \neq i}^{10} a_j E(x_{2j} - x_{1j}) + \sum_{i=1}^{10} a_i E(L_2 - L_1)}{a_i} \quad (3.5)$$

und

$$Var(Y_i) = \left(\frac{2 \sum_{j \neq i}^{10} a_j^2 \sigma_j^2 + 2 \sigma_L^2 (\sum_{i=1}^{10} a_i)^2}{a_i^2} \right) \quad (3.6)$$

Die Varianz ist in den beiden Fällen “Signal in Intervall 1“ und “Signal in Intervall 2“ gleich, beim Erwartungswert $E(Y_i)$ muss jedoch wieder zwischen diesen beiden Fällen unterschieden werden, denn der Erwartungswert $E(x_{26} - x_{16})$ nimmt, für $i = 6$, jeweils unterschiedliche Werte an (Δs oder $-\Delta s$), da im “Signal“-Reiz das 6. Segment eine Intensitätsspitze von 4 dB enthält.

Es gilt dann für den Fall “Signal in Intervall 1“:

$$E(Y_i | S \text{ in } 1) = -\Delta s \frac{a_6}{a_i} \quad (3.7)$$

Und für den Fall “Signal in Intervall 2“:

$$E(Y_i | S \text{ in } 2) = \Delta s \frac{a_6}{a_i} \quad (3.8)$$

Ziel ist, die Varianz $Var(Y_i)$ und damit die Gewichte a_i aus den Daten zu schätzen. Dafür wird die Gleichung (3.6) umgeformt, indem auf beiden Seiten $2\sigma_i^2$ addiert werden:

$$Var(Y_i) + 2\sigma_i^2 = \frac{[2 \sum_{i=1}^{10} a_i^2 \sigma_i^2 + 2\sigma_L^2 (\sum_{i=1}^{10} a_i)^2]}{a_i^2} \quad (3.9)$$

Formt man diese Gleichung weiter um, so erreicht man, dass die rechte Seite für alle Segmente i und damit auch für alle Y_i gleich ist:

$$a_i^2 [Var(Y_i) + 2\sigma_i^2] = 2 \sum_{i=1}^{10} a_i^2 \sigma_i^2 + 2\sigma_L^2 \left(\sum_{i=1}^{10} a_i \right)^2 \quad (3.10)$$

So können wieder für beliebige k und $l \in [1; 10]$ die linken Seiten der Gleichung (3.10) gleichgesetzt werden:

$$a_k^2 [Var(Y_k) + 2\sigma_k^2] = a_l^2 [Var(Y_l) + 2\sigma_l^2] \quad (3.11)$$

Weitere Umformung zeigt wieder, dass ein Verhältnis der Varianzen von Y für zwei beliebige Segmente k und l dem inversen Verhältnis der quadrierten Gewichte a_k^2 und a_l^2 dieser beiden Segmente entspricht:

$$\frac{\kappa_l [Var(Y_l) + 2\sigma_l^2]}{\kappa_k [Var(Y_k) + 2\sigma_k^2]} = \frac{\kappa_k a_k^2}{\kappa_l a_l^2} \quad (3.12)$$

Diese Gleichung entspricht genau der Gleichung (2.15) bei den Ausführungen zu Experiment 1. Die Variablen L_1 und L_2 sind noch in $Var(Y_i)$ enthalten und erhöhen die Varianz der COSS-Funktionen. Sie beeinflussen aber nicht die Ableitung der Gewichte (Berg & Green, 1990).

Die Koeffizienten κ_i stehen wieder für das jeweilige Vorzeichen, das dem Gewicht a_i zuzuweisen ist. Sie können deshalb die Werte +1 oder -1 annehmen.

Aus Gleichung (3.12) können die relativen Gewichte a_i berechnet werden, wenn $Var(Y_i)$ bekannt wäre. Die Berechnung der relativen Gewichte kann iterativ erfolgen, indem ein Gewicht willkürlich auf einen Wert, z.B. 1, gesetzt wird und die übrigen Gewichte entsprechend dazu abgeleitet werden.

Die Varianz $Var(Y_i)$ kann wie in Experiment 1 aus den empirischen Daten geschätzt werden. Die Datenerhebung liefert das Antwortverhalten der Versuchspersonen, also hier die Häufigkeit der Antworten “Intervall 1 enthielt die Intensitätsspitze“, in Bezug zur Pegeldifferenz $\Delta x_i = x_{1i} - x_{2i}$ in jedem Segment i . Das Entscheidungskriterium aus den Ungleichungen (3.2) und (3.3) besagt wieder, dass eine Versuchsperson die Intensitätsspitze in Intervall 1 hört, wenn gilt $\Delta x_i > Y_i$ im Fall positiver Gewichte ($a_i > 0$) bzw. $\Delta x_i < Y_i$ im Fall negativer Gewichte ($a_i < 0$).

Da angenommen wurde, dass Y_i approximativ normalverteilt ist, kann die Wahrscheinlichkeit für eine “Intervall 1 - Antwort“ $P(\text{Intervall 1} \mid \Delta x_i)$ geschrieben werden als:
Für $a_i > 0$:

$$P(\text{Intervall 1} \mid \Delta x_i) = P(\Delta x_i > Y_i) = \int_{-\infty}^{\Delta x_i} f(u) du = \phi(\Delta x_i) \quad (3.13)$$

Für $a_i < 0$:

$$P(\text{Intervall 1} \mid \Delta x_i) = P(\Delta x_i < Y_i) = \int_{\Delta x_i}^{\infty} f(u) du = 1 - \phi(\Delta x_i) \quad (3.14)$$

Hierin beschreibt $f(x)$ wieder die Dichtefunktion und $\phi(x)$ die Verteilungsfunktion (kumulative Normalverteilung) von Y_i mit den Erwartungswerten $E(Y_i \mid \text{Signal in Intervall 1})$ bzw. $E(Y_i \mid \text{Signal in Intervall 2})$ und der Varianz $Var(Y_i)$.

Schätzung psychometrischer COSS-Funktionen In gleicher Weise wie für Experiment 1 beschrieben können auch hier COSS-Funktionen geschätzt werden, separat für die Fälle “Signal in Intervall 1“ und “Signal in Intervall 2“. Es können in jeder Bedingung für jede Versuchsperson 20 COSS-Funktionen geschätzt werden, zwei für jedes der zehn Segmente.

Zur Ermittlung der Datenpunkte für die Konstruktion der COSS-Funktion werden wieder die Durchgänge entsprechend der Pegeldifferenzen in jedem Segment i in 20 Klassen eingeteilt. Es werden die reinen Pegeldifferenzen unabhängig vom “roving level“ verwendet, da L_1 und L_2 in die Ableitung der Gewichte nicht mit eingehen. Es wird

angenommen, dass L_1 und L_2 die Varianz der COSS-Funktionen vergrößern (Berg & Green, 1990). Da sie dies jedoch für alle Segmente gleichermaßen tun, und nur das (relative) Gewichtsverhältnis der Segmente untereinander interessiert, können die Größen L_1 und L_2 bei der Auswertung vernachlässigt werden. Es kann jedoch interessieren, zusätzlich ein “Level weight“ zu berechnen, das angibt, ob der “Overall level“ eines Reizes einen Einfluss auf das Antwortverhalten hatte. Dies wurde mittels der logistischen Regression (Abschnitt 3.3.2.2) geprüft.

Bei 3200 Durchgängen, die jede Versuchsperson in jeder Bedingung absolvierte, waren das im Durchschnitt 1600 Durchgänge für die Fälle “Signal in Intervall 1“ und “Signal in Intervall 2“, und damit im Durchschnitt 80 Durchgänge in jeder Klasse.

Die COSS-Funktionen für die Fälle “Signal in Intervall 1“ und “Signal in Intervall 2“ werden hier vergleichbar gemacht, indem in den “Signal“-Reizen jeweils von der Pegelstufe des 6. Segments die Intensitätsspitze $\Delta_s = 4$ dB abgezogen wird. Die Varianz $Var(Y_i)$ und damit die Steigung der COSS-Funktionen bleiben davon wieder unberührt.

Da davon ausgegangen wurde, dass Y_i approximativ normalverteilt ist, können die Daten durch eine kumulative Normalverteilung beschrieben werden. Mittels Kleinst-Quadrat-Schätzung wird eine entsprechende Ogive angepasst. Ein χ^2 -Anpassungstest beschreibt die Anpassungsgüte.³

Schätzung der Gewichte Die Berechnung der Gewichte a_i erfolgt in gleicher Weise wie für Experiment 1. Eine Normierung der Gewichte findet hier in der Weise statt, dass das Segment mit der Intensitätsspitze, also das 6. Segment, auf 1 gesetzt wird und die übrigen Gewichte im Verhältnis dazu berechnet werden. Da im Experiment 2 auch negative Gewichte erwartet werden, ist eine Normierung $\sum_{i=1}^{10} a_i = 1$ hier nicht sinnvoll.

³Die COSS-Auswertung wurde mit dem unter Experiment 1 genannten Programm von Berg durchgeführt, die für Experiment 2 notwendigen Modifizierungen von der Verfasserin vorgenommen.

Ergebnisse der COSS-Analyse Für jede Versuchsperson wurden in jeder der beiden Bedingungen “Segmentdauer 100 ms“ und “Segmentdauer 20 ms“ jeweils 20 COSS-Funktionen geschätzt, in jedem der zehn Zeitsegmente eine für den Fall “Signal in Intervall 1“ und eine für den Fall “Signal in Intervall 2“. Damit wurden über alle 8 Versuchspersonen und Bedingungen hinweg insgesamt 320 COSS-Funktionen geschätzt. 23 von 320 COSS-Funktionen (7,19 %) unterschieden sich signifikant ($\alpha = 0,05$) von einer kumulativen Normalverteilung. Dies war in der Bedingung “Segmentdauer 20 ms“ insgesamt 16-mal der Fall, in der Bedingung “Segmentdauer 100 ms“ 7-mal. Nur bei den Versuchspersonen MI (6 von 20 COSS-Funktionen in der Bedingung “Segmentdauer 20 ms“) und LI (3 von 20 COSS-Funktionen, Bedingung “Segmentdauer 20 ms“) sind häufigere Abweichungen von der kumulativen Normalverteilung zu beobachten. In allen anderen Fällen trifft das jeweils höchstens auf zwei von 20 COSS-Funktionen pro Vp und Bedingung zu. Die Anpassung der COSS-Funktionen an die Daten ist damit insgesamt noch zufriedenstellend. Eine genaue Zusammenstellung aller Parameter der COSS-Funktionen findet sich im Anhang B2 (ab S. 236).

Die Abbildungen 3.4 und 3.5 zeigen jeweils einen Satz von COSS-Funktionen für eine Versuchsperson (MA) in den beiden Bedingungen “Segmentdauer 20 ms“ und “Segmentdauer 100 ms“. Für jedes Zeitsegment 1 bis 10 wurden zwei COSS-Funktionen geschätzt. Die jeweils obere Funktion steht für den Fall, dass der “Signal“-Reiz im ersten Intervall auftrat, die jeweils untere Funktion für den Fall “Signal in Intervall 2“. Die Abbildungen illustrieren, dass sich die COSS-Funktionen hinsichtlich ihrer Steigung unterscheiden und im Gegensatz zur reinen Lautheitsunterscheidung auch stark fallende COSS-Funktionen auftreten. Positive Steigung führt zu positiven Gewichten, negative Steigung zu negativen Gewichten. Ein Vergleich der COSS-Funktionen für Reize mit “Segmentdauer 100 ms“ und “Segmentdauer 20 ms“ zeigt ein ähnliches Verlaufsmuster.

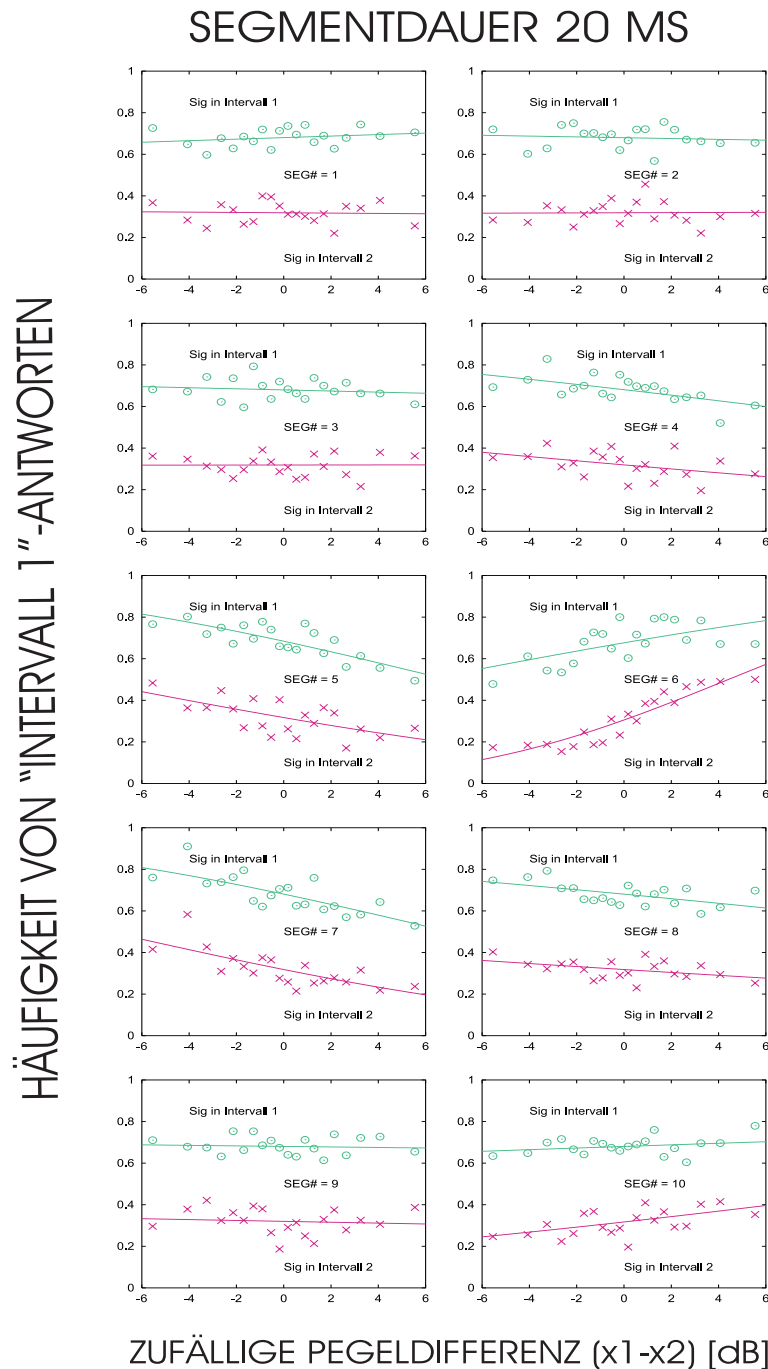


Abbildung 3.4: COSS-Funktionen für alle zehn Zeitsegmente für Bedingung “Segmentdauer 20 ms” für Vp MA. Für jedes Zeitsegment wurden zwei COSS-Funktionen geschätzt, die obere (grün) für den Fall “Signal in Intervall 1”, die untere (rot) für den Fall “Signal in Intervall 2”. Je steiler eine COSS-Funktion, desto größer der Einfluss des zugehörigen Segments auf die Entscheidung der Versuchsperson. Die Datenpunkte repräsentieren die relativen Häufigkeiten von “Intervall 1“-Antworten in Abhängigkeit der Pegeldifferenz in diesem Segment zwischen Intervall 1 und Intervall 2, die Kurven die angepassten kumulativen Normalverteilungen.

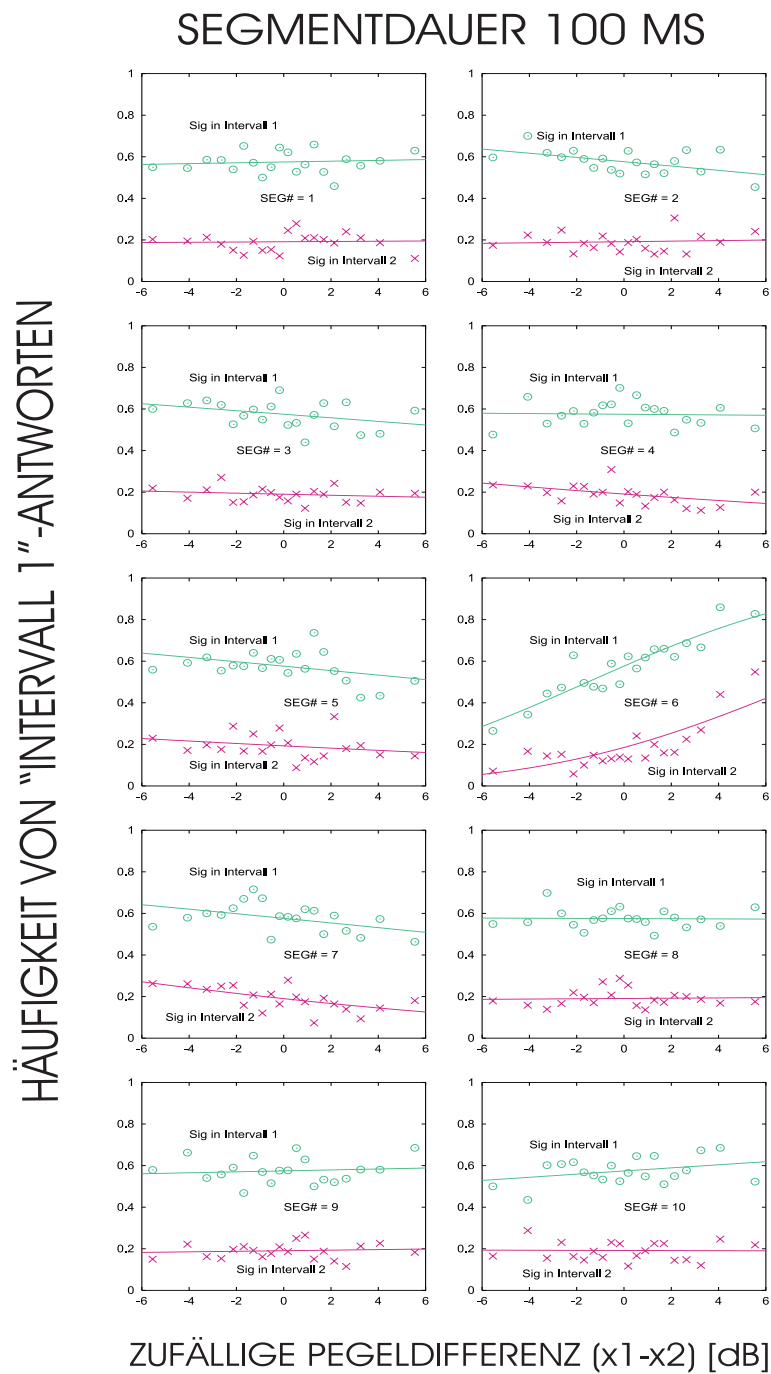


Abbildung 3.5: COSS-Funktionen für alle zehn Zeitsegmente für Bedingung "Segmentdauer 100 ms" für Vp MA.

Abbildung 3.6 zeigt die mittleren Gewichte in jeder der beiden Bedingungen (durchgezogene Linie) über alle acht Versuchspersonen. Die gestrichelten Linien geben die Gewichtsfunktionen einzeln für jede Versuchsperson an, die jeweils aus den Einzelgewichten für die Fälle “Signal in Intervall 1“ und “Signal in Intervall 2“ (siehe Abbildungen 7.4 und 7.5 im Anhang B2, S. 241 und 242) gemittelt wurden. Das Gewicht für Segment 6, das das Inkrement enthielt, ist auf 1 gesetzt.

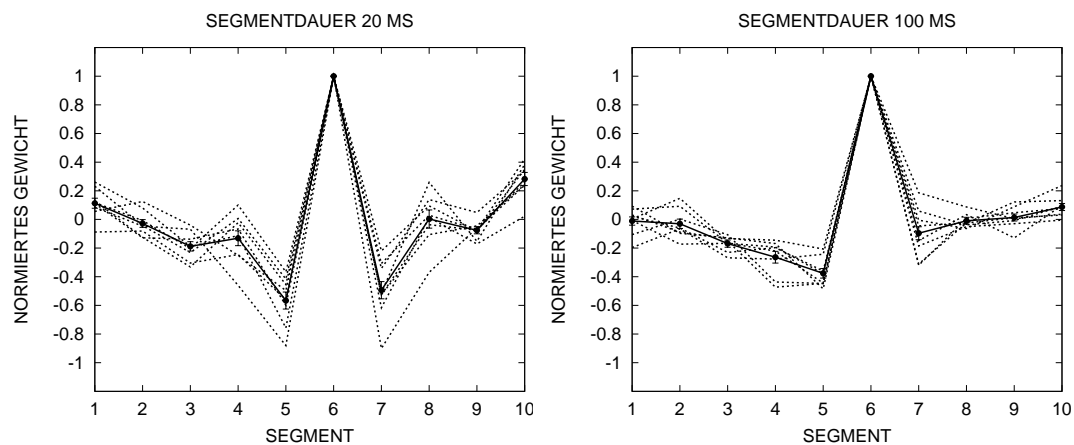


Abbildung 3.6: Mittlere Gewichte über alle acht Versuchspersonen (durchgezogene Linie) in beiden Bedingungen. Jede gestrichelte Linie steht für die Gewichte einer Versuchsperson.

Abbildung 3.7 zeigt einen direkten Vergleich der beiden Bedingungen für jede Versuchsperson. Die Strategien der Versuchspersonen ähneln sich hier stark mit positiven Gewichten auf Segment 6 und meist starken Kontrasten zu den benachbarten Segmenten. Auch ist dieser bei kurzer Segmentdauer (20 ms) meist noch ausgeprägter als bei längerer Segmentdauer (100 ms).

Abbildung 3.8 und Tabelle 3.3 geben nun die mittleren Gewichte und Standardfehler über acht Versuchspersonen gemeinsam in den beiden Bedingungen wieder. Das Gewicht für Segment 6 ist auf 1 gesetzt, die übrigen Gewichte entsprechend dazu normiert.

Die Gewichtsfunktionen zeigen ein sehr ähnliches Muster in beiden Bedingungen mit langer (100 ms) und kurzer (20 ms) Segmentdauer. Segment 6, das die Intensitätsspitze enthielt, bekommt ein hohes positives Gewicht, die benachbarten Segmente 5 und 7 werden negativ gewichtet. Das zeigt, dass Versuchspersonen in der La-

Tabelle 3.3: Mittlere Gewichte über alle acht Versuchspersonen in den beiden Bedingungen “Segmentdauer 20 ms” und “Segmentdauer 100 ms”.

<i>Segment</i>	Segmentdauer 20 ms		Segmentdauer 100 ms	
	<i>mittleres Gewicht</i>	<i>Std.f.</i>	<i>mittleres Gewicht</i>	<i>Std.f.</i>
1	0,1130	0,0350	-0,0109	0,0289
2	-0,0283	0,0271	-0,0301	0,0326
3	-0,1881	0,0325	-0,1687	0,0253
4	-0,1312	0,0518	-0,2638	0,0411
5	-0,5662	0,0592	-0,3763	0,0331
6	1	0	1	0
7	-0,4939	0,0603	-0,0962	0,0454
8	0,0028	0,0637	-0,0093	0,0245
9	-0,0758	0,0246	0,0135	0,0242
10	0,2824	0,0460	0,0869	0,0246

ge sind, starke Kontraste zwischen einzelnen Segmenten zu formen - nicht nur in der Bedingung mit langer Segmentdauer, sondern auch in der Bedingung mit 20-ms-Segmenten. Eine zweifaktorielle (Zeitsegmente \times lange vs. kurze Segmentdauer) Varianzanalyse (ANOVA) zeigt, dass der Faktor “Zeitsegment“ signifikant wird; $F(9, 63) = 156.541, p < 0.001$. Auch die Interaktion zwischen Zeitsegment und Segmentdauer wird statistisch signifikant; $F(9, 63) = 10.038, p < 0.001$. Der Faktor “Segmentdauer“ wird nicht signifikant; $F(1, 7) = 1.132, p = 0.323$.

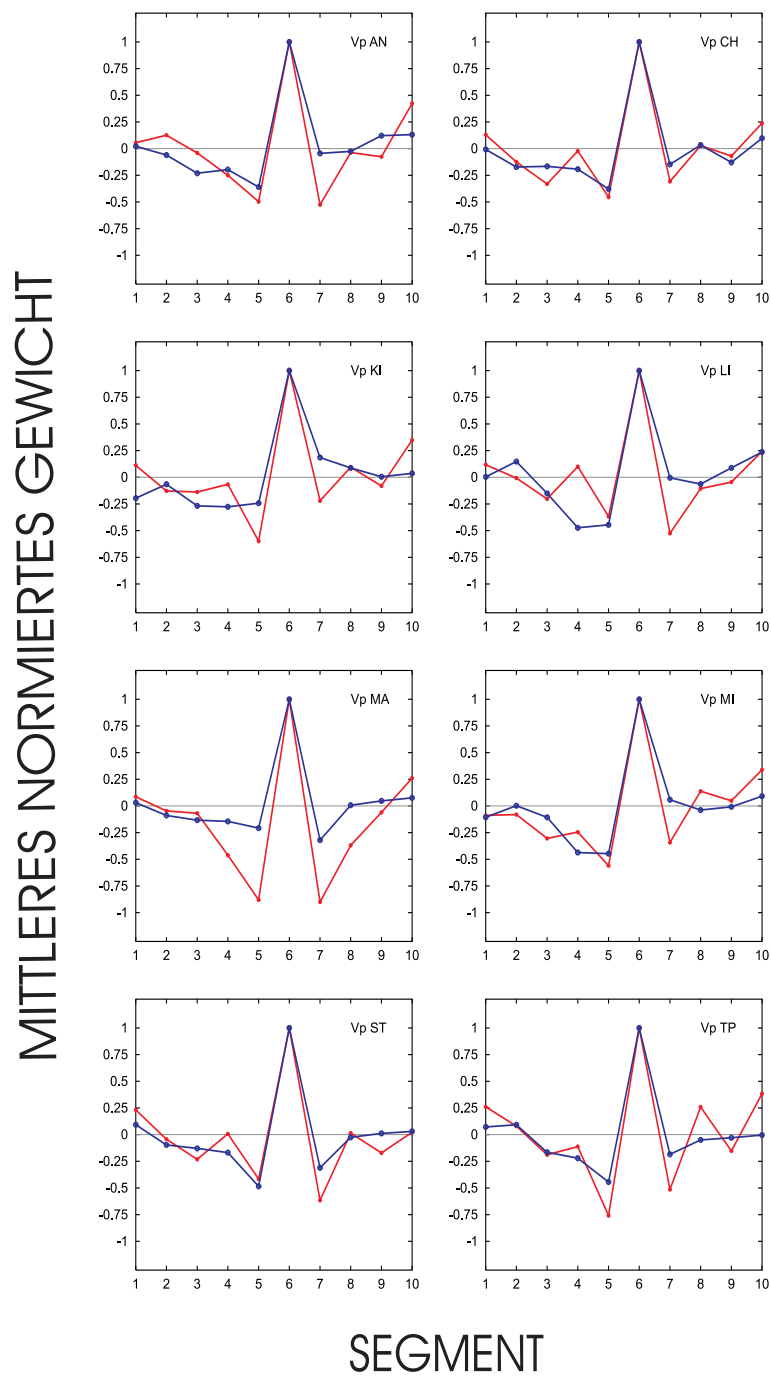


Abbildung 3.7: Mittlere Gewichte in den Bedingungen “Segmentdauer 20 ms” (rot) und “Segmentdauer 100 ms” (blau) für jede Versuchsperson einzeln.

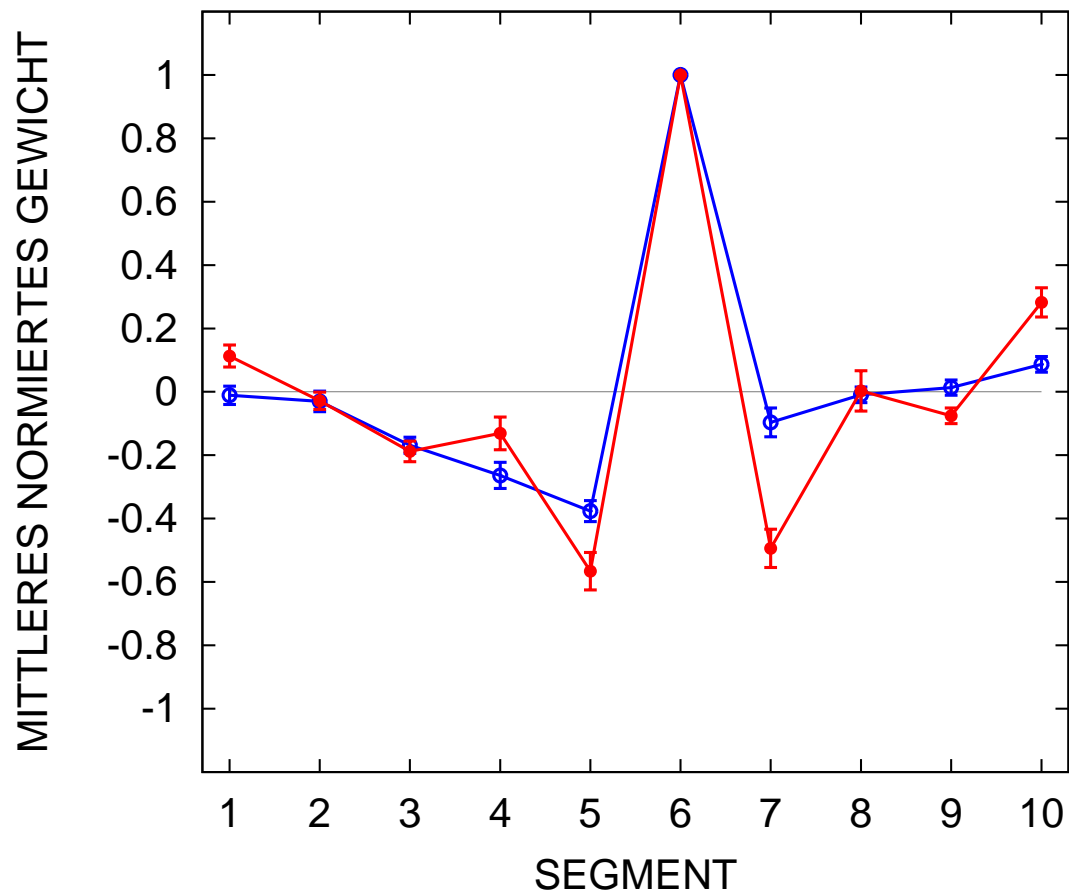


Abbildung 3.8: Mittlere Gewichte über acht Versuchspersonen in den Bedingungen "Segmentdauer 20 ms" (rot) und "Segmentdauer 100 ms" (blau). Die Fehlerbalken geben die Standardfehler an.

3.3.2.2 Logistische Regression

Modell zur Schätzung der Gewichte für jede einzelne Versuchsperson Zur Schätzung der Gewichte mittels logistischer Regression, die das Antwortverhalten jeder Versuchsperson beschreiben, wird dasselbe Modell wie in Experiment 1 verwendet. Es gilt folgender Zusammenhang zwischen logarithmierter Wettchance (“odds”) und unabhängigen Regressoren:

$$\ln \left(\frac{\hat{y}_k}{1 - \hat{y}_k} \right) = \beta_0 + \sum_{i=1}^{10} \beta_i x_{ki} + \varepsilon_k \quad (3.15)$$

Die Variable x_{ki} steht wie in Experiment 1 jeweils für die Pegeldifferenz im i -ten Zeitsegment zwischen “Signal” und “Noise”. Die Regressionskoeffizienten werden mittels Maximum Likelihood-Verfahren geschätzt.

Relevanz und Vorhersagekraft des Modells für jede einzelne Versuchsperson

Wie in Experiment 1 gibt auch hier der Likelihood-Quotienten-Test an, ob das gewählte Modell die Daten besser beschreiben kann als ein Modell, das nur die Konstante enthält. Die Tabelle 3.4 gibt die χ^2 -Werte, die Freiheitsgrade und die p -Werte für den Modelltest für alle Versuchspersonen und beide Bedingungen in Experiment 2 wieder.

Die Ergebnisse zeigen, dass das gewählte Modell in allen Fällen die Daten signifikant besser beschreibt, als ein Modell, das nur die Konstante enthält. Die gewählten Regressoren liefern damit relevante Information zur Erklärung der unabhängigen Variablen.

Ebenso wird, wie in Experiment 1, in Tabelle 3.5 angegeben, wieviel Prozent der Antworten das Modell richtig vorhersagen kann. Auch hier kann das gewählte Modell die Ergebnisse der dichotomen abhängigen Variablen gut vorhersagen.

Schätzung der Gewichte mittels logistischer Regression Die β -Koeffizienten jeder Versuchsperson finden sich im Anhang C2 (ab S. 253). Bei den meisten Versuchspersonen werden die Koeffizienten für Segment 6 und die benachbarten Segmente 5 und 7 signifikant von 0 verschieden, mit stark positiven Gewichten auf Segment 6 und stark negativen Gewichten auf den benachbarten Segmenten. Die meisten anderen

Tabelle 3.4: Ergebnisse des Likelihood-Quotienten-Tests auf Modellrelevanz

Segmentdauer 20 ms						
V_p	“Signal“ in Intervall 1			“Signal“ in Intervall 2		
	χ^2	df	p	χ^2	df	p
AN	92,284	10	< 0,001	165,752	10	< 0,001
CH	97,741	10	< 0,001	106,896	10	< 0,001
KI	106,395	10	< 0,001	74,472	10	< 0,001
LI	77,154	10	< 0,001	88,022	10	< 0,001
MA	125,825	10	< 0,001	174,678	10	< 0,001
MI	109,997	10	< 0,001	103,463	10	< 0,001
ST	95,053	10	< 0,001	131,937	10	< 0,001
TP	138,188	10	< 0,001	100,852	10	< 0,001

Segmentdauer 100 ms						
V_p	“Signal“ in Intervall 1			“Signal“ in Intervall 2		
	χ^2	df	p	χ^2	df	p
AN	101,406	10	< 0,001	297,502	10	< 0,001
CH	100,863	10	< 0,001	156,108	10	< 0,001
KI	142,964	10	< 0,001	159,691	10	< 0,001
LI	98,345	10	< 0,001	93,901	10	< 0,001
MA	136,224	10	< 0,001	117,563	10	< 0,001
MI	300,539	10	< 0,001	322,886	10	< 0,001
ST	90,200	10	< 0,001	143,911	10	< 0,001
TP	177,229	10	< 0,001	124,971	10	< 0,001

Segmente erhalten Gewichte, die sich nicht signifikant von 0 unterscheiden. Jedoch bekommen viele Anfangs- und Endsegmente höhere Gewichte. Auch in diesem Experiment sind die β_0 -Koeffizienten in einigen Fällen signifikant von 0 verschieden. Eine allgemeine Antworttendenz hin zu Intervall 2 ist also auch hier gegeben.

Mittlere Gewichte aus logistischer Regression Abbildung 3.9 und Tabelle 3.6 geben nun die mittleren Gewichte und Standardfehler über acht Versuchspersonen gemeinsam in den beiden Bedingungen “Segmentdauer 20 ms“ und “Segmentdauer 100 ms“ aus logistischer Regression wieder. Auch hier zeigt sich in beiden Bedingungen ein ähnliches Muster. Immer werden starke Kontraste gebildet zwischen dem Segment mit der Intensitätsspitze und den benachbarten Segmenten. Das Muster ist auch hier äquivalent zu dem mittels COSS-Analyse erhaltenen.

Tabelle 3.5: Prozentsätze der richtigen Vorhersagen durch das Modell.

Segmentdauer 20 ms		
<i>V_p</i>	“Signal“ in Intervall 1 % vorhergesagt	“Signal“ in Intervall 2 % vorhergesagt
AN	65,67	72,04
CH	65,43	72,27
KI	64,19	70,70
LI	67,31	62,34
MA	70,96	71,04
MI	69,5	70,2
ST	66,48	72,60
TP	64,05	72,04

Segmentdauer 100 ms		
<i>V_p</i>	“Signal“ in Intervall 1 % vorhergesagt	“Signal“ in Intervall 2 % vorhergesagt
AN	72,9	76,7
CH	68,20	79,04
KI	73,12	71,02
LI	71,05	65,32
MA	63,36	81,51
MI	80,0	79,5
ST	66,48	71,83
TP	65,85	83,56

Tabelle 3.6: Mittlere Gewichte aus logistischer Regression über alle acht Versuchspersonen in den beiden Bedingungen “Segmentdauer 20 ms“ und “Segmentdauer 100 ms“.

<i>Segment</i>	Segmentdauer 20 ms		Segmentdauer 100 ms	
	<i>mittleres Gewicht</i>	<i>Std.f.</i>	<i>mittleres Gewicht</i>	<i>Std.f.</i>
1	0,1385	0,0350	-0,0169	0,0319
2	-0,0233	0,0268	-0,0390	0,0261
3	-0,1818	0,0307	-0,1758	0,0277
4	-0,1204	0,0483	-0,2615	0,0400
5	-0,5647	0,0531	-0,3836	0,0316
6	1	0	1	0
7	-0,4848	0,0587	-0,0939	0,0458
8	0,0059	0,0603	-0,0096	0,0255
9	-0,0735	0,0210	0,0190	0,0230
10	0,2849	0,0467	0,1002	0,0222

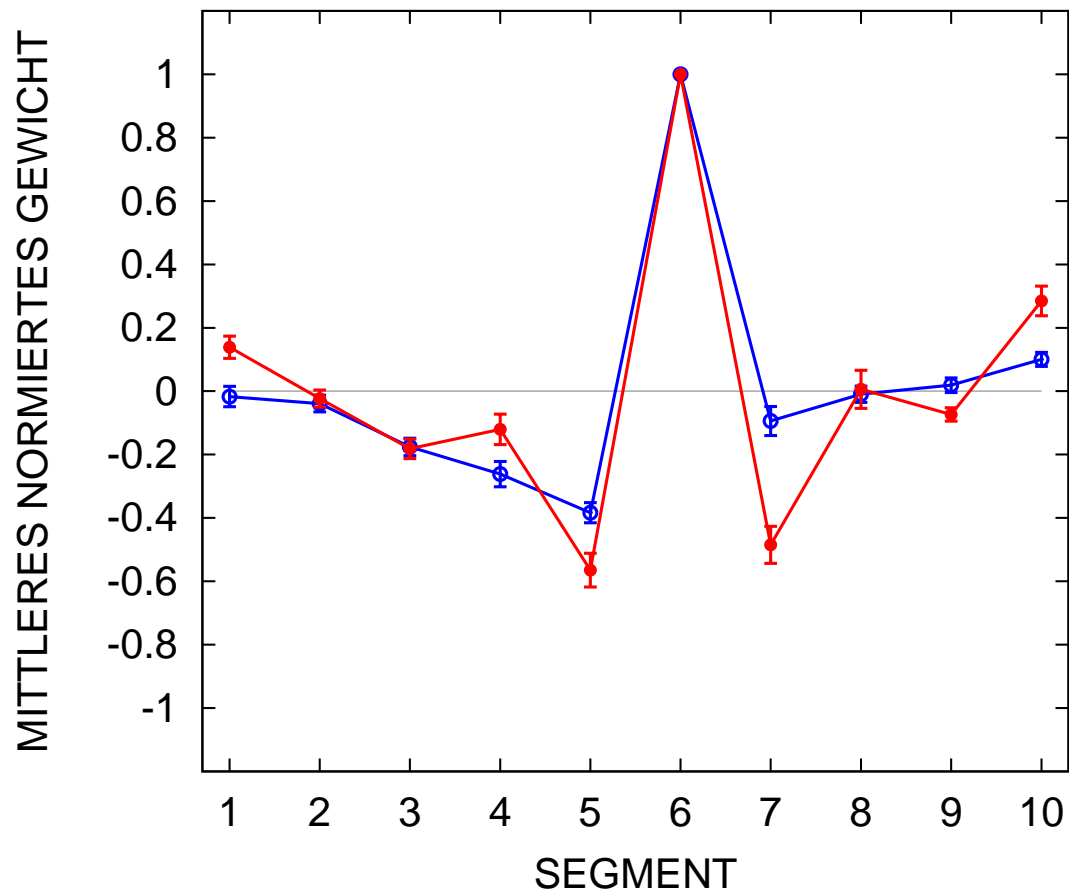


Abbildung 3.9: Mittlere Gewichte und Standardfehler aus logistischer Regression über acht Versuchspersonen in den Bedingungen "Segmentdauer 20 ms" (rot) und "Segmentdauer 100 ms" (blau).

Berücksichtigung des “Roving Level“ bei der Gewichtsschätzung Fügt man in das logistische Regressionsmodell (3.15) noch eine Variable für die Differenz zwischen dem “Roving Level“ im 1. und 2. Intervall ein, so lässt sich zusätzlich ein Gewicht für den Einfluss dieses Unterschiedes im Gesamtpegel schätzen.

$$\ln \left(\frac{\hat{y}_k}{1 - \hat{y}_k} \right) = \beta_0 + \sum_{i=1}^{10} \beta_i x_{ki} + \beta_L x_L + \varepsilon_k \quad (3.16)$$

Die Variable x_L steht hier für die Pegeldifferenz $L_1 - L_2$, also der Differenz im “Roving Level“ zwischen Intervall 1 und Intervall 2.

Die β -Koeffizienten jeder Versuchsperson, die nach diesem Modell geschätzt wurden, finden sich im Anhang C2 (ab S. 257). Der Koeffizient β_L für den Einfluss des “Roving Level“ ist bei nur drei Versuchspersonen (AN, KI, LI) signifikant von 0 verschieden, und hier auch nur in der Bedingung “Segmentdauer 100 ms“. Es kann also davon ausgegangen werden, dass der “Roving Level“ die Entscheidung der Versuchspersonen tatsächlich kaum beeinträchtigt hat.

Abbildung 3.10 gibt die Gewichtsfunktionen für alle acht Versuchspersonen wieder, wobei jeweils die Einzelgewichte in jeder Graphik rechts für das Gewicht stehen, das der “Roving Level“-Differenz zugewiesen wurde. Das Gewicht für Segment 6 ist auf 1 gesetzt, die übrigen Gewichte entsprechend normiert.

Das Gesamtmodell Auch für Experiment 2 soll mittels eines Gesamtmodells in der logistischen Regression überprüft werden, ob sich verschiedene Versuchsbedingungen signifikant voneinander unterscheiden. Dadurch sollen Faktoren identifiziert werden, die in signifikanter Weise das Ergebnis einer “Signal“-Antwort beeinflussen.

Dieses Gesamtmodell kann durch folgende Gleichung beschrieben werden:

$$\begin{aligned} \ln \left(\frac{\hat{y}_k}{1 - \hat{y}_k} \right) = & \beta_0 + \sum_{i=1}^{10} \beta_i x_{ki} \\ & + \beta_l x_{kl} + \sum_{i=1}^{10} \beta_{il} x_{ki} x_{kl} \\ & + \beta_{sig} x_{ksig} + \sum_{i=1}^{10} \beta_{isig} x_{ki} x_{ksig} \\ & + \varepsilon_k \end{aligned} \quad (3.17)$$

mit:

β_0 : Konstante

β_i : Koeffizient der i -ten unabhängigen Variablen x_{ki} ($i \in I$), in diesem Falle steht jedes i wieder für ein Zeitsegment, x_{ki} enthält jeweils die Pegeldifferenz zwischen “Signal“- und “Noise“-Intervall.

x_{ki} : Ausprägung der i -ten unabhängigen Variablen ($i \in I$) im k -ten Durchgang ($k \in K$), wobei x_{ki} hier jeweils für die entsprechende Pegeldifferenz im i -ten Zeitsegment zwischen “Signal“ und “Noise“ steht.

β_l : Koeffizienten der Dummy-Variablen x_{kl} für den Faktor “lange Reize“ mit einer Segmentdauer von 100 ms. Die Variablen x_{kl} nehmen den Wert 1 an, wenn die Bedingung “lange Reize“ vorliegt, sonst den Wert 0.

β_{sig} : Koeffizienten der Dummy-Variablen x_{ksig} für den Faktor “Signal in Intervall 1“. Die Variablen x_{ksig} nehmen den Wert 1 an, wenn die Bedingung “Signal in Intervall 1“ vorliegt. Liegt “Signal in Intervall 2“ vor, nimmt sie den Wert 0 an.

β_{il} : Koeffizienten für die Interaktion zwischen “lange Reize“ (Segmentdauer 100 ms) und der Pegeldifferenz in den zehn Zeitsegmenten.

β_{isig} : Koeffizienten für die Interaktion zwischen “Signal in Intervall 1“ und der Pegeldifferenz in den zehn Zeitsegmenten.

ε_i : Störterm

I : Menge der Zeitsegmente

K : Menge der Durchgänge

Ergebnisse aus diesem Gesamtmodell Die Tabelle 3.7 zeigt die Ergebnisse aus diesem Gesamtmodell aus logistischer Regression für Experiment 2.

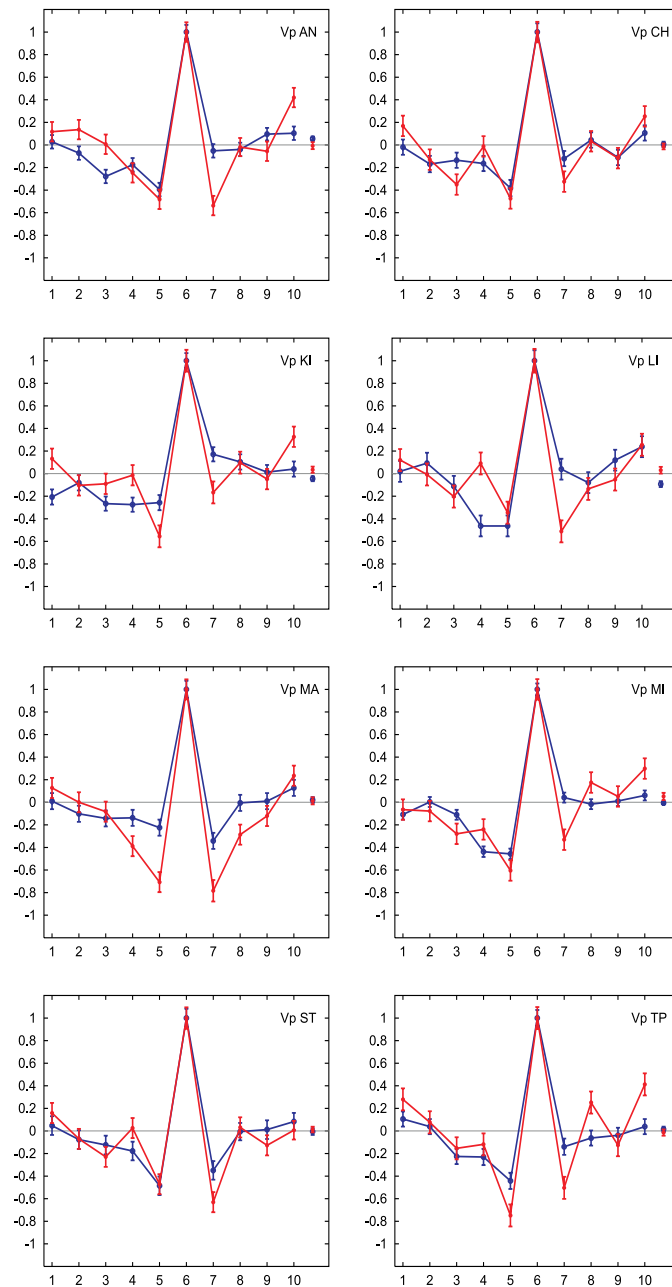
Signifikant werden hier die Segmente 1 bis 10 (β_1 bis β_{10}). Der Haupteffekt “lange vs. kurze“ (β_l) Reize für einen Vergleich der Segmentdauern 100 ms und 20 ms wird nicht signifikant. Die β -Koeffizienten der Interaktionen zwischen Segmentdauer und zeitlicher Segmentposition (β_{1l} bis β_{10l}) haben bei den ersten Segmenten ein negatives Vorzeichen, werden bei den mittleren Segmenten positiv und bei den späteren Segmenten wieder negativ. Das spiegelt offensichtlich die Tendenz der Gewichtsfunktion

Tabelle 3.7: Ergebnisse aus dem Gesamtmodell aus logistischer Regression in Experiment 2. Signifikant von 0 verschiedene β -Koeffizienten sind durch Fettdruck der zugehörigen p-Werte hervorgehoben.

	β -Koeff.	Std.f.	p-value		β -Koeff.	Std.f.	p-value		β -Koeff.	Std.f.	p-value
β_0	0,221	0,028	0,000	β_{sig}	-0,258	0,033	< 0,001	β_l	0,017	0,033	0,591
β_1	0,018	0,006	0,003	β_{1sig}	0,003	0,007	0,668	β_{1l}	-0,024	0,007	0,001
β_2	-0,002	0,006	0,728	β_{2sig}	-0,004	0,007	0,601	β_{2l}	-0,005	0,007	0,451
β_3	-0,025	0,006	< 0,001	β_{3sig}	-0,001	0,007	0,862	β_{3l}	-0,010	0,007	0,136
β_4	-0,018	0,006	0,003	β_{4sig}	0,002	0,007	0,807	β_{4l}	-0,039	0,007	< 0,001
β_5	-0,089	0,006	< 0,001	β_{5sig}	0,014	0,007	0,047	β_{5l}	-0,001	0,007	0,840
β_6	0,162	0,006	< 0,001	β_{6sig}	-0,023	0,007	0,002	β_{6l}	0,062	0,007	< 0,001
β_7	-0,076	0,006	< 0,001	β_{7sig}	0,008	0,007	0,243	β_{7l}	0,052	0,007	< 0,001
β_8	0,000	0,006	0,978	β_{8sig}	0,004	0,007	0,530	β_{8l}	-0,004	0,007	0,614
β_9	-0,010	0,006	0,091	β_{9sig}	-0,001	0,007	0,851	β_{9l}	0,013	0,007	0,053
β_{10}	0,052	0,006	< 0,001	β_{10sig}	-0,019	0,007	0,008	β_{10l}	-0,021	0,007	0,002

der “langen“ Reize wider, zu Beginn und am Ende des Reizes unter der Gewichtsfunktion der “kurzen“ Reize zu liegen, im Mittelteil aber darüber. Der Haupteffekt “Signal in Intervall 1“ (β_{sig}) wird signifikant, die Interaktionen mit den Segmenten (β_{1sig} bis β_{10sig}) in den meisten Fällen nicht. Dies bestätigt die allgemeine Tendenz, Intervall 2 zu bevorzugen.

MITTLERES NORMIERTES GEWICHT



SEGMENT

Abbildung 3.10: Gewichte und Standardfehler aus logistischer Regression für acht Versuchspersonen in den Bedingungen “Segmentdauer 20 ms” (rot) und “Segmentdauer 100 ms” (blau) mit einem zusätzlich geschätzten Gewicht für den Einfluss des “Roving Level” (Einzelgewicht in jeder Graphik rechts). Damit wird ausgedrückt, welchen Einfluss ein Pegelunterschied im “Overall Level” zwischen dem ersten und dem zweiten Intervall hat.

3.4 Diskussion

Experiment 2 untersuchte, wie Versuchspersonen ihre Gewichtungsstrategien anpassen konnten, wenn die Unterscheidung von Lautheitsprofilen gefragt war. Es wurden zwei Segmentdauern (100 ms und 20 ms) untersucht. Der Verlauf der Gewichtsfunktionen zeigt in beiden Bedingungen (100 ms und 20 ms Segmente) ein ähnliches Muster. Wie in Abbildung 3.6 zu sehen, weicht auch keine Versuchsperson von diesem Muster ab. Es werden deutliche Kontraste gebildet zwischen dem Segment mit der Intensitätsspitze und den Nachbarsegmenten. Dies macht deutlich, dass das Gehör in der Lage ist, auch kurze Segmente von nur 20 ms Dauer selektiv zu nutzen, wenn die Aufgabe es verlangt.

Übereinstimmend zeigt sich eine signifikante Interaktion zwischen Reizdauer und Segmentposition bei der Varianzanalyse der Gewichte aus COSS-Analyse und bei der Analyse des Gesamtmodells mittels logistischer Regression. So werden u.a. die β -Koeffizienten (β_{6l} und β_{7l}) für die Interaktion zwischen Reizdauer und Segmentposition für die Segmente 6 und 7 signifikant von 0 verschieden, was bedeutet, dass die Gewichte der Bedingung “Segmentdauer 100 ms“ hier signifikant über denen der Bedingung “Segmentdauer 20 ms“ liegen. D.h., hier erhöht sich die Chance auf eine “Signal“-Antwort bei den Reizen mit längerer Segmentdauer gegenüber den Reizen mit kürzerer Segmentdauer. Das lässt sich so interpretieren, dass zwar das Gewichtsmuster für beide Segmentdauern ähnlich ist, die lange Segmentdauer aber dennoch einen Vorteil bei der Entdeckung des Inkrements hat. Dies ist auch konsistent mit der Diskriminationsleistung der Teilnehmer: alle acht Versuchspersonen erzielten in der Bedingung “Segmentdauer 100 ms“ insgesamt bessere Prozent-korrekt-Werte.

Die Gewichtsmuster lassen sich vergleichen mit den Ergebnissen von Lutfi (1992). In einem der dort beschriebenen Experimente sollten Probanden ebenfalls eine Lautheitsveränderung auf dem 6. Segment einer Sequenz von zehn 2000-Hz-Tönen entdecken, die eine Dauer von je 30 ms hatten. Bei Lutfi (1992) war die Lautheitsveränderung auf Segment 6 nicht durch einen festen Pegelzuwachs, sondern durch das Ziehen des Pegels aus einer Verteilung mit höherem mittleren Pegel als derjenigen Verteilung der Kontexttöne realisiert. Lutfi (1992) variierte systematisch das Verhältnis zwischen der

Varianz der Pegelverteilung für Kontexttöne und Zielton. Dies war im hier beschriebenen Experiment 2 nicht der Fall. Da als Inkrement ein fester Pegelzuwachs von 4 dB im 6. Segment auf die zufällig fluktuierenden Pegel ($\mu = 62$ dB, $\sigma = 2$ dB) gesetzt wurde, war hier das Verhältnis der Varianzen von Ziel- und Kontexttönen immer gleich 1. Lutfi (1992) fand für dieses Varianzverhältnis ein ähnliches Gewichtsmuster wie es in Experiment 2 resultierte. Der 6. Ton in der Sequenz erhielt ein hohes positives Gewicht, die übrigen Töne wurden tendenziell flacher gewichtet. Jedoch zeigen sich auch deutliche Abweichungen von einer idealen Gewichtung (vgl. Abb. 3.1), insbesondere durch relativ hohe positive Gewichte auf Anfangs- und Endsegmenten. “Weighting functions indicate that listeners may often confuse the last tone in the sequence for the target even when the target is far removed from the last tone (...)” (Lutfi, 1992, S.3397). Ähnliches ist im vorliegenden Experiment 2 zu beobachten (siehe z.B. Abb. 3.7), wo auch einige Versuchspersonen, besonders bei kurzer Segmentdauer, dazu tendieren, Anfangs- und Endkomponenten stärker zu berücksichtigen, obwohl das keine Lösungsvorteile bringt.

Auch Lutfi (1992) erhielt bei einigen Versuchspersonen negative Gewichte, insbesondere auf den beiden Tönen, die dem Zielton unmittelbar benachbart waren - eine weitere Parallele zu Experiment 2. Jedoch waren diese Kontraste bei weitem nicht so stark ausgeprägt, wie im vorliegenden Experiment. Negative Gewichte werden als Indiz dafür gewertet, dass Vergleiche zwischen den Komponenten innerhalb einer Sequenz durchgeführt werden, um die Chance zu erhöhen, den Zielton zu entdecken (Berg & Green, 1990). Insbesondere negative Gewichte auf der Komponente, die der Zielkomponente unmittelbar folgt, widersprechen jedoch Annahmen zum Phänomen des “backward recognition masking” (z.B. Foyle & Watson, 1984; Massaro, 1970). Zu dessen Erklärung wird angenommen, dass Kontexttöne, die in kurzem Abstand auf einen Zielton folgen, die sensorische Spur des Zieltons “überschreiben” und so dessen vollständige Verarbeitung verhindern. Lutfi (1992) interpretiert dies als die Annahme eines Gewichtsmusters mit hohen relativen Gewichten auf den Kontexttönen, die dem Zielton unmittelbar folgen. Gerade dieses Muster zeigt sich aber nicht.

Ganz allgemein ist sicher ein wesentlicher Faktor bei der Entdeckung von Unterschieden in auditiven Sequenzen die Fähigkeit, seine Aufmerksamkeit auf den Zeitpunkt in der Sequenz zu fokussieren, für den die Veränderung erwartet wird. Dies verweist auf

den Einfluss der Ähnlichkeit zwischen Kontextkomponenten und Zielkomponente auf deren Entdeckbarkeit. Denn je mehr sich ein Zielton durch seine Unähnlichkeit von den Kontexttönen abhebt, desto besser kann er die Aufmerksamkeit auf die Zielkomponente lenken. Hinweise auf den Zielton können daher z.B. durch eine Änderung in einer anderen Dimension (z.B. Intensität, Dauer) als derjenigen gegeben werden, in der Unterschiede entdeckt werden sollen (z.B. Frequenz). So konnten z.B. Leek et al. (1991) zeigen, dass die Interferenz durch Kontexttöne bei der Entdeckung von Frequenzunterschieden im Zielton dann minimal wurde, wenn er durch einen Pegelunterschied von 6-8 dB von den Kontexttönen abgehoben war. In einer früheren Studie hatte Van Noorden (1975, zitiert nach Leek et al., 1991) Pegelunterschiede von 2-4 dB gefunden, durch die Sequenzen von Tönen empfindungsmäßig so voneinander getrennt wurden, dass sie als zwei verschiedene “streams“ wahrgenommen wurden.

Neurophysiologische Untersuchungen belegen, dass auditive Reize, auf die sich gerade die Aufmerksamkeit eines Hörers richtet, ein spezielles ereigniskorreliertes Potential auslösen, im Vergleich zu identischen Reizen, die nicht beachtet werden. Dieser Aufmerksamkeitseffekt wurde “processing negativity“ (PN) genannt (Näätänen et al., 1978). Verschiedene Studien (z.B. Alho et al. 1989 und 1990) zeigen eine frühe (erhöhte N1) und eine spätere Ausprägung dieses Aufmerksamkeitseffekts (“slow endogenous negativity“).

Neuere Studien (Lange et al., 2003; Krämer et al., 2005) zeigen, dass nicht nur durch einen Ort, sondern auch durch einen Zeitpunkt, auf den Aufmerksamkeit gerichtet ist, die Verarbeitung beachteter Reize verbessert wird. Dies zeigt sich bereits in frühen Verarbeitungsstufen, wie auch in späteren, wie durch eine erhöhte N1 bei zeitlicher selektiver Aufmerksamkeit ebenso belegt wird wie durch eine spätere erhöhte Negativierung, die frontal ab etwa 450 ms zu messen ist. Diese verbesserte Verarbeitung beachteter Reize kann nach Näätänen (1982) als “selective rehearsal“ dafür sorgen, dass gerade relevante Reizmerkmale im Gedächtnis behalten werden und in die Reizrepräsentation (“attentional trace“) aufgenommen werden.

In Bezug auf das hier durchgeführte Experiment 2 stellt sich jedoch die Frage, ob es Versuchspersonen überhaupt gelingen kann, gezielt Aufmerksamkeit auf einen Zeitpunkt *innerhalb* eines so kurzen Reizintervalls wie der verwendeten 200 ms zu lenken oder ob die Entdeckung der Intensitätsspitze eher durch Analyse der Repräsentation des Gesamtreizes gelingt.

Fragt man nach der “optimalen“ Gewichtung für eine Profilaufgabe wie dieser, so finden sich in der Literatur unterschiedliche Auffassungen dazu. Wie bereits an früherer Stelle erwähnt, sprechen sich einige Autoren (z.B. Stellmack & Viemeister, 2000; Lutfi, 1992) dafür aus, für die optimalen Gewichte anzunehmen, dass nur die Zielkomponente eine hohe positive Gewichtung erhalten sollte, die Kontextkomponenten mit einem Gewicht von 0 zu versehen sind. Eine andere Auffassung ist z.B. bei Berg & Green (1990) zu finden, die neben der hohen positiven Gewichtung der Zielkomponente negative Gewichte für die Kontextkomponenten postulieren. Die Gewichtung entspringt Überlegungen zur Verarbeitung spektraler Gewichte, bei denen Kontexttöne und Zielton simultan dargeboten werden und negative Gewichte Vergleiche der gesuchten Dimension (z.B. Intensität) der Zielkomponente mit den Kontextkomponenten innerhalb eines Darbietungsintervalls reflektieren sollen. Einigkeit besteht also nur darüber, dass positive Gewichte abseits der Zielkomponente im Reiz (als “Informational Masking“) die Effizienz der Verarbeitung verringern sollten. Daher ist in der folgenden Graphik (siehe Abbildung 3.11) der Zusammenhang zwischen der Diskriminationsleistung und der Summe von positiven Gewichten auf Nicht-Zielsegmenten dargestellt.

Die Summe positiver Gewichte auf Nicht-Signalkomponenten kann nicht alle Unterschiede in der Diskriminationsleistung von Versuchspersonen erklären. Auch die Stärke, mit der Kontraste bzw. negative Gewichte gebildet werden, wird eine Rolle spielen. Dennoch ist der erwartete negative Zusammenhang zwischen Diskriminationsleistung und positiven Gewichten auf Nicht-Signalkomponenten zu erkennen, der als Maß für eine ineffiziente Gewichtung angesehen werden kann.

Experiment 2 hat nun gezeigt, dass Versuchspersonen ihre Gewichtungsstrategien flexibel wechseln können zwischen Integration der Lautheit und Entdeckung eines Inkrementes. Eine weiterführende Fragestellung wird sich nun darauf beziehen, ob Versuchspersonen nicht nur ein Inkrement entdecken können, sondern auch Intervalle mit Inkrementen an verschiedenen Positionen im Reiz unterscheiden können, wenn diese Pegelveränderungen sehr rasch aufeinander folgen.

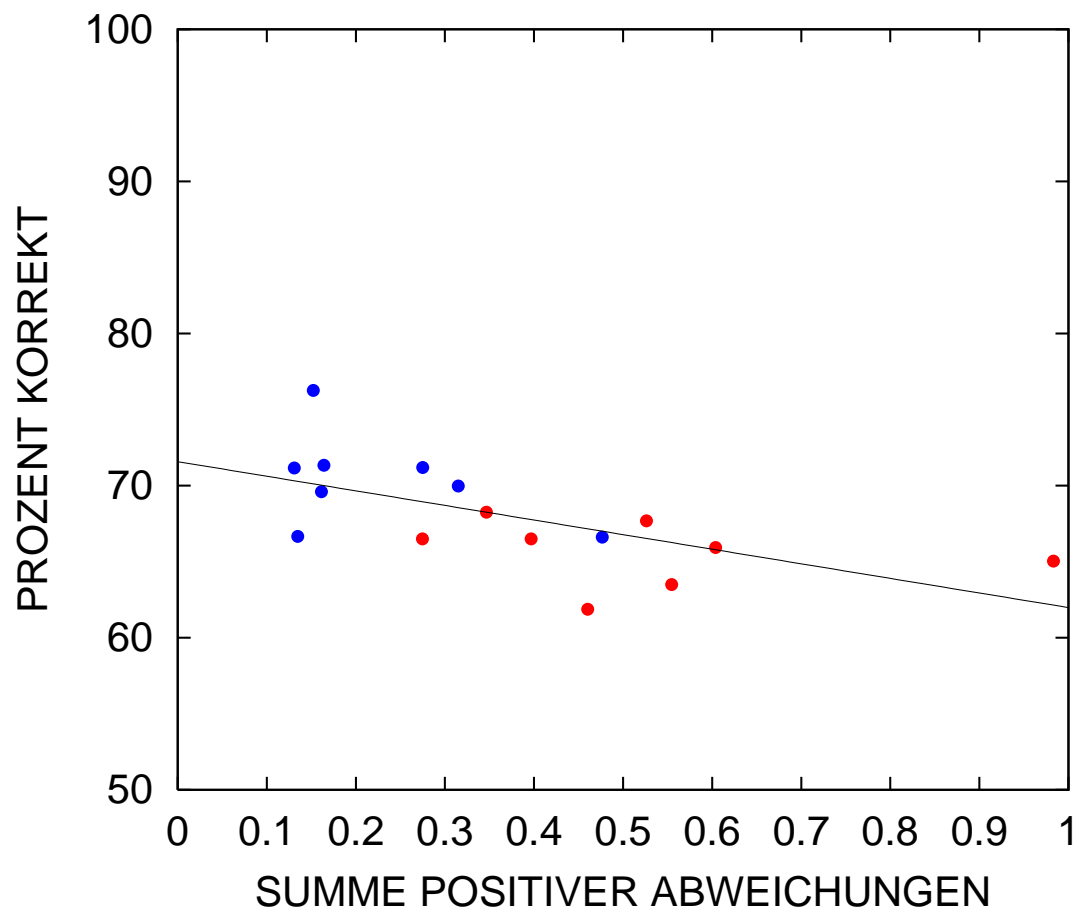


Abbildung 3.11: Diskriminationsleistung ("Prozent korrekt") aller Versuchspersonen, abgetragen in Abhängigkeit von der Summe positiver Gewichte auf Nicht-Signalkomponenten; rot steht für die Ergebnisse der Bedingung "Segmentdauer 20 ms", blau für Bedingung "Segmentdauer 100 ms". Jeder Punkt steht für das Ergebnis einer Versuchsperson in einer der beiden Bedingungen.

Kapitel 4

Experiment 3

4.1 Unterscheidung von zeitlichen Lautheitsmustern nach ihrer Form

Experiment 2 hat gezeigt, dass Versuchspersonen Intensitätsspitzen in Lautheitsprofilen entdecken können, selbst wenn die zu analysierenden Zeitsegmente nur 20 ms kurz waren. Die resultierenden Gewichtsfunktionen zeigten, dass das auditive System Einzelsegmente selektiv nutzen kann, wenn die Aufgabenstellung es erfordert. Allerdings war die Aufgabe in Experiment 2 noch relativ einfach. Es musste nur entschieden werden, welches von zwei Profilen ein Inkrement enthält und welches nicht. Nun soll diese Aufgabe erweitert werden. Es wird die Frage gestellt, ob Probanden auch in der Lage sind, Lautheitsprofile nach ihrer *Form* zu unterscheiden. Zu identifizieren sind nun Lautheitsprofile, die entweder am Beginn (Segment 2) oder am Ende (Segment 9) des Reizes eine Intensitätsspitze enthalten und damit als auf- bzw. absteigende Rampen beschrieben werden können. Damit fallen jegliche Lösungshinweise, die aufgrund der Gesamtlautheit der Reize gegeben waren, weg und ein “roving level“ ist nicht mehr notwendig, denn beide zu unterscheidenden Reize enthalten ein Inkrement und unterscheiden sich nicht mehr in der Gesamtlautheit, sondern nur noch in der Form bzw. zeitlichen Abfolge.

Experiment 3 soll außerdem die Auflösungsfähigkeit des auditiven Systems weiter explorieren. Es soll untersucht werden, ob die Komponenten der Lautheitsprofile

auch noch kürzer werden können als 20 ms und sich dennoch selektive Gewichte für Einzelsegmente ergeben. Die Segmentdauer wird in einer Bedingung auf 10 ms reduziert und mit einer Segmentdauer von 20 ms in einer zweiten Bedingung verglichen.

Außerdem wurde nun ein IIFC-Paradigma verwendet. Dadurch war es nicht mehr möglich, die Aufgabe durch direkten Vergleich zweier Rauschintervalle zu lösen, sondern Versuchspersonen mussten in jedem Durchgang das dargebotene Lautheitsmuster hinsichtlich seiner Form analysieren.

Die Hypothese richtet sich auf die zu erwartenden Gewichtsfunktionen. Es stellt sich die Frage, wie deutlich das Gewichtsmuster das jeweilige Lautheitsprofil der Reize hier noch widerzuspiegeln vermag. Abbildung 4.1 gibt die idealen Gewichte für diese Aufgabe wieder. Die beiden Zielsegmente, die jeweils das Inkrement enthalten, sollten stark gewichtet werden, die Kontextkomponenten Gewichte von 0 erhalten. Die Gewichte auf den Zielsegmenten sollten entgegengesetztes Vorzeichen besitzen. In der Abbildung ist die Normierung (willkürlich) so gewählt, dass das Gewicht für Segment 9 auf 1 gesetzt wird, das Gewicht für Segment 2 sollte entsprechend bei optimaler Gewichtung -1 sein.

Eine weitere Hypothese betrifft die Frage, ob ein Inkrement am Anfang eines Reizes besser oder schlechter zu entdecken ist als am Ende eines Reizes. Folgt man Befunden zum “backward recognition masking“ (z.B. Foyle & Watson, 1984; Massaro, 1970), so ist zu vermuten, dass ein Inkrement am Ende des Reizes leichter zu entdecken sein wird. Dies stünde auch im Einklang mit der Annahme, dass frühe Reizkomponenten aufgrund der Maskierung durch spätere nur unvollständig verarbeitet werden und daher deren Eigenschaften u.U. nicht oder nur teilweise Bestandteil der Reizrepräsentation werden (Näätänen & Winkler, 1999). Durch Fokussierung auf den richtigen Zeitpunkt, für den das Inkrement erwartet wird, könnte dieses Problem jedoch gelöst werden.

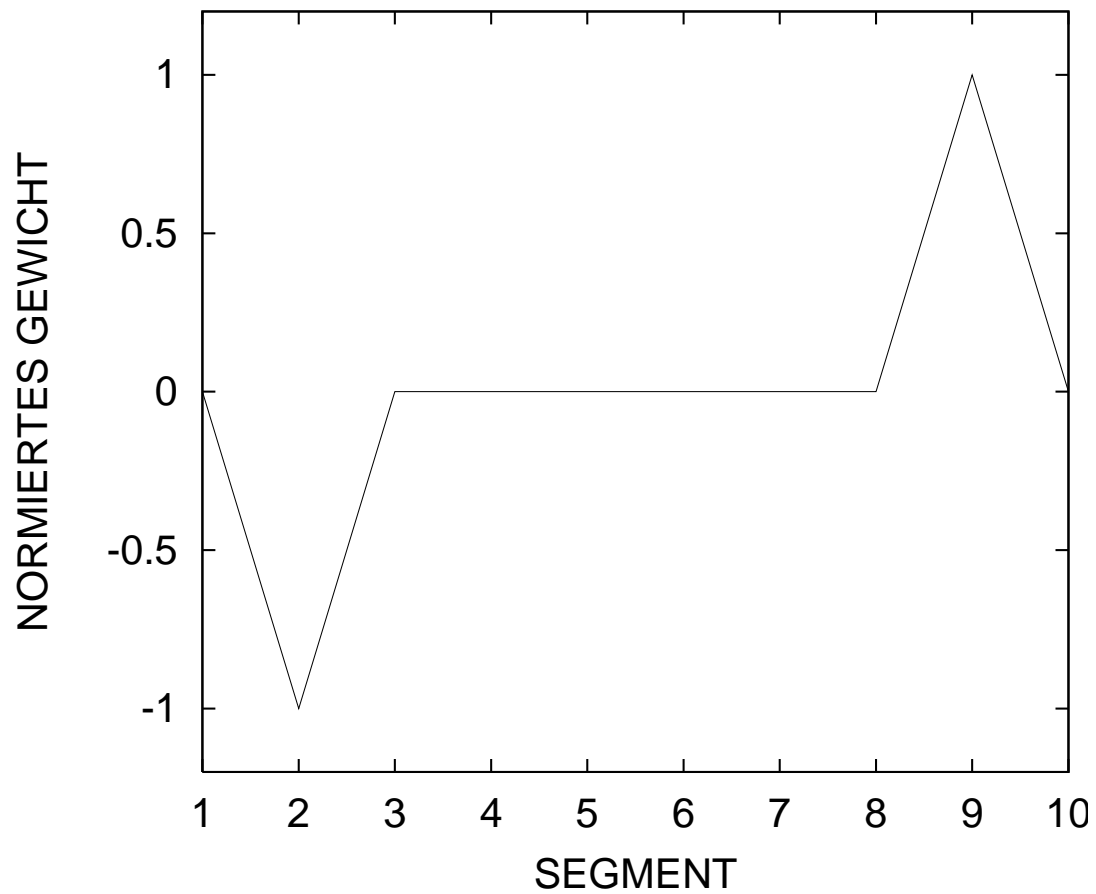


Abbildung 4.1: Ideale Gewichte für Experiment 3. Zielsegmente, für die ein Inkrement erwartet wird, werden stark gewichtet, mit jeweils entgegengesetztem Vorzeichen. Kontextkomponenten erhalten Gewichte von 0. Die Normierung der Gewichte ist stets willkürlich und hier so gewählt, dass das Gewicht für Segment 9 auf 1 gesetzt ist, das Gewicht für Segment 2 entsprechend auf -1.

4.2 Methode

4.2.1 Versuchspersonen

An Experiment 3 nahmen drei Versuchspersonen zwischen 28 und 46 Jahren teil. Das Durchschnittsalter betrug 35 Jahre, der Median 31 Jahre. Zwei Versuchspersonen waren männlich, eine weiblich. Bei den Teilnehmern handelte es sich um einen Doktoranden am Department for Acoustics der Universität Aalborg, Dänemark, um den Betreuer dieser Dissertation und die Verfasserin. Alle drei Teilnehmer waren normalhörend. Hörtests, die mittels Audiometern in Regensburg (MADSEN ELECTRONICS MICROMATE 304D) und Aalborg (Madsen Electronics OB40) durchgeführt worden waren, ergaben Hörschwellen von 20 dB HL oder besser für reine Töne von 250 bis 8000 Hz. Alle drei Teilnehmer hatten Vorerfahrungen mit dieser Art von psychoakustischen Experimenten.

4.2.2 Versuchsanordnung

4.2.2.1 Apparatur

Experiment 3 fand im Labor der Abteilung für Akustik an der Universität Aalborg, Dänemark statt. Zur Reizgenerierung und Reizsteuerung diente ein PC (Pentium III, Fujitsu Siemens, Windows 2000) zusammen mit einem Tucker Davis Technologies (TDT) System 3. Die erzeugten Reize wurden in eine doppelwandige, schallisolierte Akustikkammer weitergeleitet.

Weißes Rauschen mit stufenweisen Intensitätsveränderungen wurde vom Computer berechnet und über einen Signalprozessor (TDT RP2.1) mit 24-bit Digital-Analog-Wandler und 50-kHz Samplingrate ausgegeben. Programmierbare Abschwächer (TDT PA5) dienten zur Kalibrierung der Absolutpegel des Signals, bevor es über den Headphone-Driver (TDT HB7) weitergeleitet und den Versuchspersonen diotisch über Kopfhörer (Beyerdynamic DT 990) dargeboten wurde. Die Versuchspersonen saßen dabei in der schallisolierten, doppelwandigen Akustikkammer. Sie gaben ihre Urteile durch Drücken von Tasten auf einem Kästchen ab, das vor ihnen auf dem Tisch stand. Leuchtdioden auf dem Kästchen zeigten ihnen das Abspielen eines Reizes an und gaben Rückmeldung über die Richtigkeit der gegebenen Antworten. Die Reaktionen der

Probanden wurden zum Rechner im Steuerraum geleitet und dort aufgezeichnet. Abbildung 4.2 gibt diesen Versuchsaufbau schematisch wieder.

4.2.2.2 Reizmaterial

Jeder Reiz bestand aus zehn zeitlichen Segmenten, die zufällig im Pegel fluktuierten. Die Pegel der zehn Segmente wurden unabhängig voneinander aus einer Normalverteilung mit einem Mittelwert von $\mu = 62$ dB SPL und einer Standardabweichung von $\sigma = 2$ dB gezogen. Die zehn Segmente waren ohne Unterbrechung aneinander gereiht. Im Gegensatz zu den Experimenten 1 und 2 wurden hier die Pegelstufen nicht über die Abschwächer kontrolliert, sondern in Software berechnet und anschließend über den D/A-Wandler an die Abschwächer (TDT3 PA 5) ausgegeben, durch die sie nur noch kalibriert wurden. Die Reize wurden unterschieden in “Signal“ und “Noise“. Diesmal zeichnete sich der “Signal“-Reiz durch eine Intensitätsspitze am Anfang des Reizes - auf dem 2. Segment - aus, während der “Noise“-Reiz die Intensitätsspitze am Ende - auf dem 9. Segment - enthielt. Die Reize ähnelten also auf- bzw. absteigenden “Rampen“. Abbildung 4.3 zeigt eine schematische Darstellung der Reize, die in Experiment 3 verwendet wurden. Ein “roving level“ war in diesem Experiment nicht nötig, da beide Reiztypen, “Signal“ und “Noise“, eine Intensitätsspitze enthielten, und so die Gesamtlautheit keinen Hinweis mehr geben konnte. Bei der Gesamtdauer der Reize wurden wieder zwei Bedingungen unterschieden. In Bedingung 1 (“lange Reize“) betrug die Gesamtdauer eines Reizes 200 ms. Ein Segment war also 20 ms lang. In Bedingung 2 (“kurze Reize“) betrug die Gesamtdauer eines Reizes 100 ms. Ein Einzelsegment hatte entsprechend eine Dauer von nur 10 ms. Die zeitliche Präzision wurde durch die Berechnung der Reize in Software sichergestellt. In Bedingung 1 betrug die Intensitätsspitze 5 dB, in Bedingung 2 waren es 8 dB.

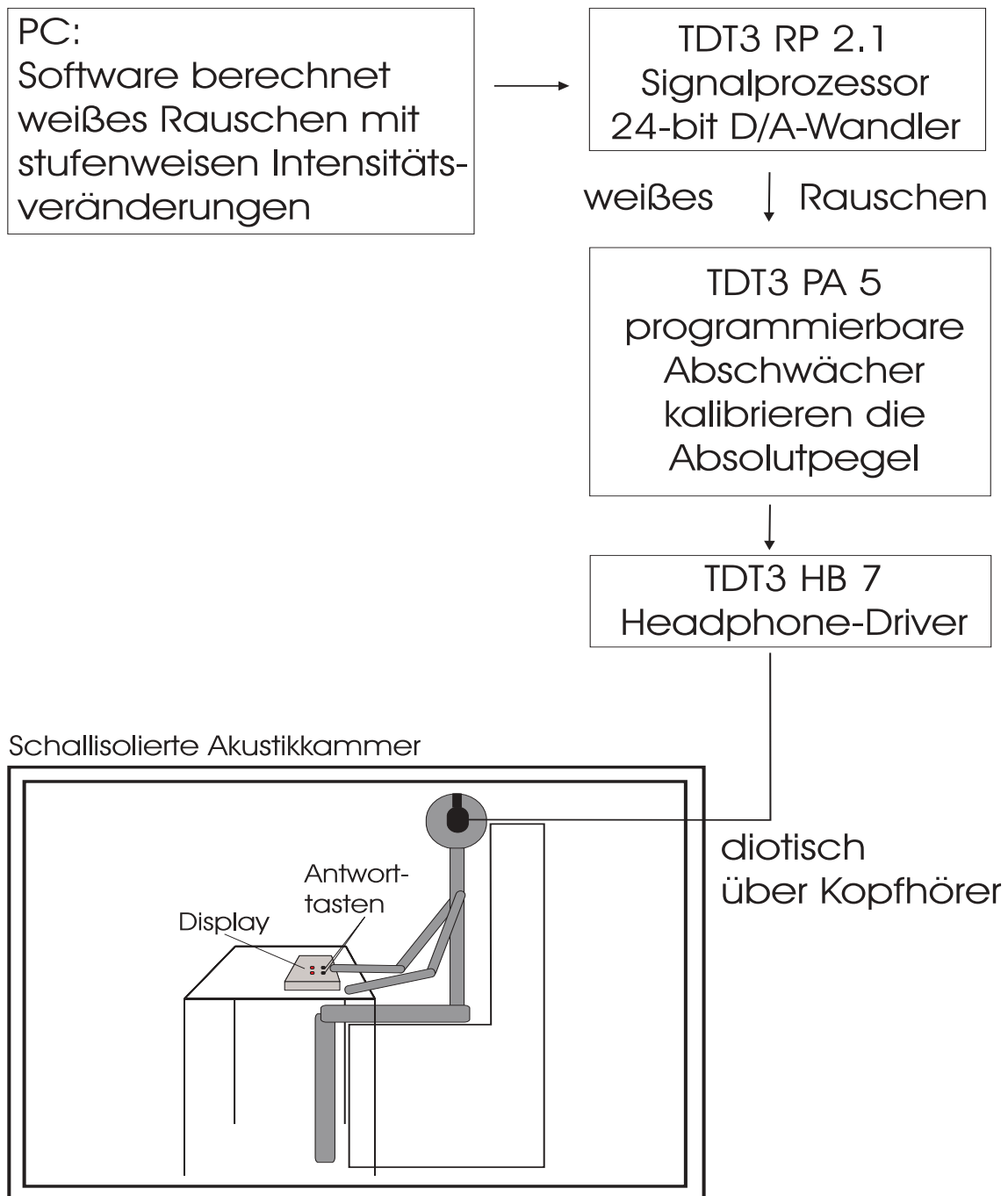


Abbildung 4.2: Darstellung des Versuchsaufbaus für Experiment 3. Weißes Rauschen mit stufenweisen Intensitätsveränderungen wurde im Computer berechnet und über einen Signalprozessor mit 24-bit Digital-Analog-Wandler weitergeleitet. Programmierbare Abschwächer kalibrierten die Absolutpegel des Signals, bevor es der in der schallisolierten Kammer sitzenden Versuchsperson diotisch über Kopfhörer dargeboten wurde.

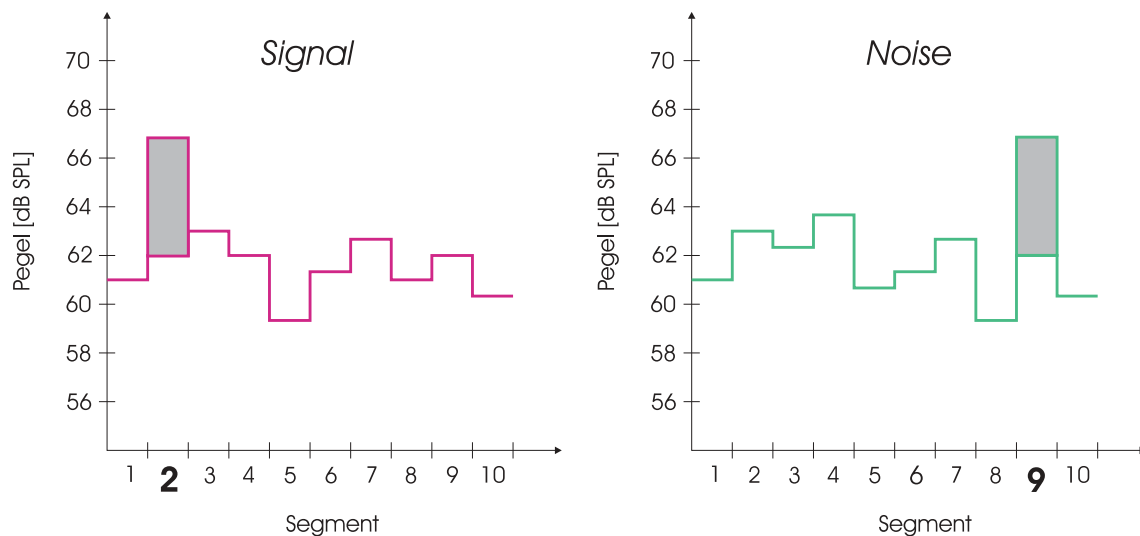


Abbildung 4.3: Schematische Darstellung der Reize in Experiment 3. Pegel von zehn Segmenten von Weißem Rauschen werden unabhängig voneinander aus einer Zufallsverteilung (NV: $\mu=62$ dB, $\sigma=2$ dB) gezogen. Die Reize werden als “Signal” und “Noise” bezeichnet. Beim “Signal”-Reiz befand sich die Intensitätsspitze auf dem 2. Segment, beim “Noise”-Reiz auf dem 9. Segment.

4.2.3 Versuchsablauf

4.2.3.1 Struktur eines Durchgangs

Das so generierte Weiße Rauschen wurde in diesem Experiment in einem One-Interval-Forced-Choice-Verfahren (1IFC) dargeboten. In jedem Durchgang wurde entweder ein “Signal“- oder ein “Noise“-Reiz präsentiert. Die Reihenfolge, in der “Signal“- und “Noise“-Reize aufeinander folgten, war zufällig. Das Abspielen eines jeden Reizes wurde vom Aufleuchten einer Leuchtdiode auf dem Kästchen begleitet, das sich vor der Versuchsperson auf dem Tisch befand. Die Versuchsperson musste nach jedem Reiz entscheiden, ob sich die Intensitätsspitze am Anfang (2. Segment) oder am Ende (9. Segment) befunden hatte, es sich also um einen “Signal“- oder “Noise“-Reiz gehandelt hatte. Die Antwort gaben die Versuchspersonen durch Drücken einer von zwei Tasten auf dem Kästchen, die linke für “Intensitätsspitze war am Anfang“, die rechte für “Intensitätsspitze war am Ende“. Die Tasten waren jeweils durch kleine Skizzen (ähnlich Abb. 4.3) gekennzeichnet, die die Reizart schematisch wiedergaben. Nach 700 ms folgte der nächste Reiz. Feedback wurde wieder nach jedem Durchgang

gegeben. Das Aufleuchten einer Leuchtdiode über der jeweiligen Antworttaste zeigte an, ob es sich bei dem gerade gehörten Intervall um einen “Signal“- oder “Noise“-Reiz gehandelt hatte.¹

4.2.3.2 Versuchsplan

Die Teilnehmer absolvierten in der ersten Sitzung einige Übungsblöcke, die sie schrittweise mit der relativ komplexen Aufgabenstellung vertraut machten. Die Instruktion erfolgte schriftlich (siehe Anhang A2, S. 223). Wenn die Probanden angaben, dass ihnen die Aufgabenstellung klar war, absolvierte jede Versuchsperson sieben Übungsblöcke. Im ersten Übungsblock mit 20 Durchgängen wurden Reize mit einer Gesamtdauer von 1000 ms und einer Intensitätsspitze von 8 dB dargeboten. Anhand dieser Konstellation der langsamen Pegelfluktuationen und eines deutlichen Inkrements am Beginn bzw. Ende eines jeden Reizes konnte die Struktur der Aufgabe gut verdeutlicht werden. Danach folgten jeweils drei Übungsblöcke in den Versuchsbedingungen “lange Reize“ (Gesamtdauer hier 200 ms) und “kurze Reize“ (Gesamtdauer hier 100 ms). Dabei wurde die Höhe des Inkrementses mit jedem Block schrittweise verkleinert, bis sie im jeweils dritten Übungsblock die Höhe erreicht hatte, die auch für die eigentliche Datenerhebung verwendet wurde. Gleichzeitig wurde die Zahl der Durchgänge mit jedem Übungsblock vergrößert, bis sie ebenfalls der Zahl der Durchgänge pro Block in der eigentlichen Datenerhebung entsprach. Die Zahl der Durchgänge in den drei Übungsblöcken waren demnach jeweils 50, 100 und 200. Die in den Übungsblöcken verwendeten Intensitätsspitzen waren bei den “langen“ Reizen (Segmentdauer 20 ms) 8 dB, 6 dB und 5 dB, bei den “kurzen“ Reizen (Segmentdauer 10 ms) 10 dB, 9 dB und schließlich 8 dB. Die Probanden absolvierten zunächst die Übungsblöcke mit “langen“ Reizen, danach mit “kurzen“ Reizen.

Während der eigentlichen Datenerhebung absolvierte jede Versuchsperson insgesamt 6400 Durchgänge, jeweils 3200 in Bedingung 1 und 3200 in Bedingung 2. Die Daten

¹Auch hier zeigt das Feedback an, ob das Intervall als “Signal“ oder “Noise“ generiert worden war. Da die Pegel der einzelnen Zeitsegmente aus einer Zufallsverteilung mit $\mu = 62$ dB und $\sigma = 2$ dB gezogen wurden, war es im Fall eines Inkrements von 5 dB (Segmentdauer 20 ms) mit einer Wahrscheinlichkeit von 3,85 % möglich, dass im “Signal“- (“Noise“-) Reiz der Pegel im 9. (2.) Segment höher war als im 2. (9.) Segment, im Fall eines Inkrements von 8 dB (Segmentdauer 10 ms) mit einer Wahrscheinlichkeit von ca. 0,23 % (siehe Berechnungen im Anhang A1, Seite 220)

wurden in vier Sitzungen erhoben. In jeder Sitzung absolvierten die Versuchspersonen acht Blöcke mit jeweils 200 Durchgängen, vier in Bedingung 1 und vier in Bedingung 2. Ob die Versuchspersonen in einer Sitzung erst die vier Blöcke mit “langen“ Reizen oder die vier Blöcke mit “kurzen“ Reizen absolvierten, wurde vollständig ausbalanciert. Nach folgendem Muster ergaben sich zwei Gruppen:

1. $\underbrace{ABBA} \underbrace{BAAB}$
2. $\underbrace{BAAB} \underbrace{ABBA}$

Hierbei steht ein “A“ für jeweils vier Blöcke mit “langen Reizen“ (Bedingung 1, Segmentdauer 20 ms) und “B“ für jeweils vier Blöcke mit “kurzen Reizen“ (Bedingung 2, Segmentdauer 10 ms). Die Klammern unter den Buchstaben deuten jeweils an, welche Blockgruppen in einer Sitzung absolviert wurden. Den Versuchspersonen wurde jeweils eine der beiden Reihenfolgen zufällig zugewiesen. Zwei Versuchspersonen absolvierten die Reize in Reihenfolge 1, eine Versuchsperson in Reihenfolge 2.

Zu Beginn jeder Sitzung wurden zwei kurze Übungsblöcke mit jeweils 20 Durchgängen in den beiden Bedingungen “zum Eingewöhnen“ präsentiert. Eine Sitzung dauerte in etwa 60 Minuten. Die Teilnehmer konnten zwischen den Blöcken kurze Pausen einlegen. Tabelle 4.1 gibt einen Überblick über den Versuchsplan des Experiments 3.

Tabelle 4.1: Überblick über den Versuchsplan für Experiment 3. Das Experiment war nach fünf Sitzungen abgeschlossen. Ab der zweiten Sitzung begann die Datenerhebung für das eigentliche Experiment mit jeweils acht Experimentalblöcken (Exp.B) pro Sitzung. Übungsblöcke (ÜB) wurden in der ersten Sitzung, sowie zu Beginn jeder folgenden Sitzung absolviert.

	<i>Art des Blocks</i>	<i>Segmentdauer</i>	<i>Anz. Durchgänge</i>	<i>Inkrement</i>
Sitzung 1	ÜB 1	100 ms	20	8 dB
	ÜB 2	20 ms	50	8 dB
	ÜB 3	20 ms	100	6 dB
	ÜB 4	20 ms	200	5 dB
	ÜB 5	10 ms	50	10 dB
	ÜB 6	10 ms	100	9 dB
	ÜB 7	10 ms	200	8 dB
Sitzung 2 bis 5	ÜB	20 ms	20	5 dB
	Exp.B 1 bis 4	20 ms	200	5 dB
Sitzung 2 bis 5	ÜB	10 ms	20	8 dB
	Exp.B 1 bis 4	10 ms	200	8 dB

4.3 Ergebnisse

4.3.1 Antwortgüte

Die Prozent-korrekt-Werte der drei Versuchspersonen pro Block mit 200 Durchgängen liegen zwischen 57,5 und 89,5 Prozent korrekt für die “langen“ Reize (Segmentdauer 20 ms) und zwischen 49,5 und 97,5 Prozent korrekt für die “kurzen“ Reize (Segmentdauer 10 ms).

Die Tabelle 4.2 zeigt die mittleren, minimalen und maximalen Prozent-korrekt-Werte für jede Versuchsperson und Bedingung.²

Tabelle 4.2: Prozent-korrekt-Werte (PK) pro Versuchsblock für alle drei Versuchspersonen in beiden Experimentalbedingungen in Experiment 3.

Segmentdauer 20 ms			
<i>Vp</i>	<i>mittl. PK</i>	<i>min. PK</i>	<i>max. PK</i>
BP	84,03	79	89,5
TP	78,34	67	84
WE	64,25	57,5	75,5
Segmentdauer 10 ms			
<i>Vp</i>	<i>mittl. PK</i>	<i>min. PK</i>	<i>max. PK</i>
BP	93,19	88,5	97,5
TP	83,16	76	88
WE	58,94	49,5	66,5

Es zeigen sich z.T. starke individuelle Unterschiede zwischen den Diskriminationsleistungen der Teilnehmer. Versuchspersonen BP und TP erzielten in der Bedingung

²Als “richtige“ Antwort wurde gewertet, ob die als “Signal“ und “Noise“ generierten Reize als solche erkannt wurden. War in einem “Signal“ (“Noise“)-Reiz der Pegel des 9. (2.) Segments höher als des 2. (9.) Segments, war diese Unterscheidung faktisch nicht möglich. In der Bedingung “Segmentdauer 10 ms“ konnte dies mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,23 % auftreten. Tatsächlich trat das Problem bei “Signal“- und “Noise“-Reizen in 0,1 % der Fälle auf. In der Bedingung “Segmentdauer 20 ms“ konnte dies mit einer Wahrscheinlichkeit von 3,85 % auftreten. Tatsächlich war es bei “Signal“-Reizen in 2,1 % der Fälle, bei “Noise“-Reizen in 1,7 % der Fälle zu beobachten.

mit nur 10 ms kurzen Segmenten die besseren Ergebnisse, BP sogar über 90% richtige Antworten. Versuchsperson WE fällt die Unterscheidung von “Signal“- und “Noise“-Reizen schwerer, besonders in der Bedingung mit 10 ms kurzen Segmenten, in der nur knapp 60% richtige Antworten erzielt werden.

Die Abbildungen 4.4 zeigen die Entwicklung der Prozent-korrekt-Werte über die Zeit für die drei Versuchspersonen. Die gestrichelte Linie ist der jeweilige Durchschnittswert über alle drei Versuchspersonen und alle Blöcke. Die Daten zeigen keinen systematischen Übungseffekt.

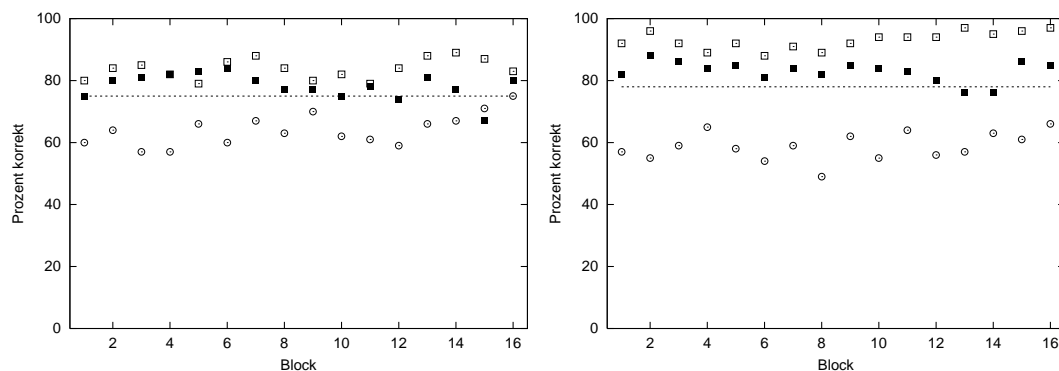


Abbildung 4.4: Prozent-korrekt-Werte über die Zeit für alle drei Versuchspersonen für die Bedingung “Segmentdauer 20 ms“ (links) und die Bedingung “Segmentdauer 10 ms“ (rechts). Jedes Symbol steht für eine Versuchsperson, die leeren Quadrate für Vp BP, die ausgefüllten Quadrate für Vp TP und die Kreise für Vp WE. Die gestrichelte Linie zeigt den jeweiligen Durchschnittswert über alle drei Versuchspersonen und alle Blöcke.

4.3.2 Gewichtsschätzung

Die Auswertung der Daten folgt dem gleichen Vorgehen wie in Experiment 1 und 2 und bedient sich der gleichen Methoden, der COSS-Analyse sowie der logistischen Regression.

4.3.2.1 COSS-Analyse

Die COSS-Analyse wird hier für den Fall zeitlicher Profilanalyse im 1-Intervall-Experiment erneut modifiziert. Die folgenden Abschnitte zeigen, an welchen Stellen diese Modifizierungen nötig sind.

Theoretischer Hintergrund - COSS-Modell für Experiment 3 Auch in Experiment 3 wurden die Reizkomponenten (x_i) mit zufälligen Perturbationen versehen. Die Aufgabe des Beobachters bestand hier nun darin, jeden Reiz der “Signal“- oder “Noise“-Gruppe zuzuordnen. Das heißt hier zu beurteilen, ob sich die Intensitätsspitze im gehörten Intervall am Anfang (2. Segment) oder am Ende (9. Segment) befunden hat. Die Gewichte a_i geben wieder den relativen Einfluss an, den der Pegel jedes Zeitsegments x_i auf das abgegebene Urteil hatte. Die Wahrnehmung jedes Reizes lässt sich wieder als gewichtete Summe beschreiben: $\sum a_i x_i$. Ein “roving level“ ist in diesem Experiment nicht notwendig, da beide Reizarten, “Signal“ und “Noise“, eine Intensitätsspitze enthalten und so die Gesamtlautheit keine Lösungshinweise mehr geben kann.

Die COSS-Methode für den 1-Intervall-Fall wurde in Berg (1989) vorgestellt. Die folgende Darstellung folgt dieser Adaptation und passt sie entsprechend den Gegebenheiten im vorliegenden Experiment 3 an.

Ein Proband wird sich in der vorliegenden Aufgabe dann für die Antwort “Das Intervall enthielt die Intensitätsspitze am Anfang (war ein “Signal“)" entscheiden, wenn die folgende Beziehung gilt:

$$\sum_{i=1}^n a_i x_i > C \quad (4.1)$$

Die gewichtete Summe muss also ein bestimmtes Kriterium C übersteigen.

Die Reize bestanden auch in diesem Experiment aus zehn Komponenten ($n = 10$), und die Pegel der Komponenten x_i waren unabhängig aus einer Normalverteilung gezogen

($\mu=62$ dB, $\sigma=2$ dB). Der Unterschied zwischen “Signal“ und “Noise“ zeigte sich in diesem Fall durch eine Intensitätsspitze auf dem 2. Segment beim “Signal“-Reiz bzw. auf dem 9. Segment beim “Noise“-Reiz.

Um zur Schätzung der psychometrischen Funktionen zu gelangen, muss die Ungleichung (4.1) so umgeformt werden, dass die Komponente x_i auf der linken Seite isoliert wird.

Es muss wieder zwischen den Fällen $a_i > 0$ und $a_i < 0$ unterschieden werden:

Für $a_i > 0$ gilt:

$$x_i > \frac{C - \sum_{j \neq i}^{10} a_j x_j}{a_i} \quad (4.2)$$

Für $a_i < 0$ gilt:

$$x_i < \frac{C - \sum_{j \neq i}^{10} a_j x_j}{a_i} \quad (4.3)$$

Zur Vereinfachung wird auch hier Y_i als neue Zufallsvariable eingeführt, die der rechten Seite der Ungleichungen (4.2) und (4.3) entspricht:

$$Y_i := \frac{C - \sum_{j \neq i}^{10} a_j x_j}{a_i} \quad (4.4)$$

Da die x_i normalverteilt sind, ist auch Y_i normalverteilt mit:

$$E(Y_i) = \frac{C - \sum_{j \neq i}^{10} a_j E(x_j)}{a_i} \quad (4.5)$$

und

$$Var(Y_i) = \left[\frac{\sum_{j \neq i}^{10} a_j^2 \sigma_j^2}{a_i^2} \right] \quad (4.6)$$

Die Varianz ist für “Signal“ und “Noise“ gleich, beim Erwartungswert $E(Y_i)$ muss jedoch zwischen diesen beiden Fällen unterschieden werden, denn die Erwartungswerte $E(x_2)$ und $E(x_9)$ nehmen für $i = 2$ und $i = 9$ jeweils unterschiedliche Werte an (mit der jeweiligen Intensitätsspitze Δ_s), da im “Signal“-Reiz das 2. Segment eine Intensitätsspitze enthält, im “Noise“-Reiz jedoch das 9. Segment. In dieser Hinsicht unterscheidet sich Experiment 3 von Experiment 2, wo die Intensitätsspitze nur in einem Segment auftreten konnte.

Es gilt dann für den Fall “Signal“:

$$E(Y_i | \text{Signal}) = \frac{C - \mu \sum_{j \neq i, 2}^{10} a_j + a_2(\mu + \Delta s)}{a_i} \quad (4.7)$$

Und für den Fall “Noise“:

$$E(Y_i | \text{Noise}) = \frac{C - \mu \sum_{j \neq i, 9}^{10} a_j + a_9(\mu + \Delta s)}{a_i} \quad (4.8)$$

Das Ziel ist wieder, die Varianz $Var(Y_i)$ und damit die Gewichte a_i aus den Daten zu schätzen. Dafür wird die Gleichung (4.6) umgeformt, indem auf beiden Seiten σ^2 addiert wird:

$$Var(Y_i) + \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{10} a_i^2 \sigma^2}{a_i^2} \quad (4.9)$$

Formt man diese Gleichung weiter um, so erreicht man, dass die rechte Seite für alle Segmente i und damit auch für alle Y_i gleich ist:

$$a_i^2 [Var(Y_i) + \sigma^2] = \sum_{i=1}^{10} a_i^2 \sigma^2 \quad (4.10)$$

So können für beliebige k und $l \in [1; 10]$ die linken Seiten der Gleichung (4.10) gleichgesetzt werden:

$$a_k^2 [Var(Y_k) + \sigma^2] = a_l^2 [Var(Y_l) + \sigma^2] \quad (4.11)$$

Weitere Umformung zeigt, dass ein Verhältnis der Varianzen von Y für zwei beliebige Segmente k und l dem inversen Verhältnis der quadrierten Gewichte a_k^2 und a_l^2 dieser beiden Segmente entspricht:

$$\frac{\kappa_l [Var(Y_l) + \sigma^2]}{\kappa_k [Var(Y_k) + \sigma^2]} = \frac{\kappa_k a_k^2}{\kappa_l a_l^2} \quad (4.12)$$

Die Koeffizienten κ_i stehen wieder für das jeweilige Vorzeichen, das dem Gewicht a_i zuzuweisen ist. Sie können deshalb die Werte +1 oder -1 annehmen.

Aus Gleichung (4.12) könnten die relativen Gewichte a_i berechnet werden, wenn $Var(Y_i)$ bekannt wäre. Die Berechnung der relativen Gewichte kann iterativ erfolgen, indem ein Gewicht willkürlich auf einen Wert, z.B. 1, gesetzt wird, und die übrigen Gewichte entsprechend dazu abgeleitet werden.

Die Varianz $Var(Y_i)$ kann aus den empirischen Daten geschätzt werden. Die Datenerhebung liefert das Antwortverhalten der Versuchspersonen, also hier die Häufigkeit der Antworten “Der Reiz war ein “Signal“-Reiz“, in Bezug zum Absolutpegel x_i in jedem Segment i . Das Entscheidungskriterium aus den Ungleichungen (4.2) und (4.3) besagt, dass eine Versuchsperson einen “Signal“-Reiz hört, wenn gilt $x_i > Y_i$ im Fall positiver Gewichte ($a_i > 0$) - bzw. $x_i < Y_i$ im Fall negativer Gewichte ($a_i < 0$).

Da angenommen wurde, dass Y_i approximativ normalverteilt ist, kann die Wahrscheinlichkeit für eine “Signal“-Antwort $P(\text{Signal} | x_i)$ geschrieben werden als:

Für $a_i > 0$:

$$P(\text{Signal} | x_i) = P(x_i > Y_i) = \int_{-\infty}^{x_i} f(u) du = \phi(x_i) \quad (4.13)$$

Für $a_i < 0$:

$$P(\text{Signal} | x_i) = P(x_i < Y_i) = \int_{x_i}^{\infty} f(u) du = 1 - \phi(x_i) \quad (4.14)$$

Hierin beschreibt $f(x)$ die Dichtefunktion und $\phi(x)$ die Verteilungsfunktion (kumulative Normalverteilung) von Y_i mit den Erwartungswerten $E(Y_i | \text{Signal})$ bzw. $E(Y_i | \text{Noise})$ und der Varianz $Var(Y_i)$.

Schätzung psychometrischer COSS-Funktionen In gleicher Weise wie für Experiment 1 und 2 beschrieben, können auch hier COSS-Funktionen geschätzt werden, separat für die Fälle “Signal“ und “Noise“. Es können wieder in jeder Bedingung für jede Versuchsperson 20 COSS-Funktionen geschätzt werden, zwei für jedes der zehn Segmente.

Zur Ermittlung der Datenpunkte für die Konstruktion der COSS-Funktion werden die Durchgänge entsprechend der Absolutpegel in jedem Segment i in 7 Klassen eingeteilt. Bei 3200 Durchgängen, die jede Versuchsperson in jeder Bedingung absolvierte, waren das im Durchschnitt 1600 Durchgänge für die Fälle “Signal“ und “Noise“, und damit im Durchschnitt 229 Durchgänge in jeder Klasse.

Die COSS-Funktionen für die Fälle “Signal“ und “Noise“ werden hier vergleichbar gemacht, indem in den “Signal“-Reizen jeweils von der Pegelstufe des 2. Segments die Intensitätsspitze $\Delta s = 5$ dB im Fall der Segmentdauer von 20 ms bzw. $\Delta s = 8$ dB im Fall der Segmentdauer von 10 ms abgezogen wird. In den “Noise“-Reizen wird

entsprechend Δs vom Pegel des 9. Segments abgezogen. Die Varianz $Var(Y_i)$ und damit die Steigung der COSS-Funktionen bleiben davon wieder unberührt.

Da Y_i wieder normalverteilt ist, können aus den Häufigkeiten der “Signal“-Antworten z-Werte berechnet werden und mittels Kleinst-Quadrate-Schätzung eine lineare Funktion an die Daten angepasst werden.³

Schätzung der Gewichte Die Berechnung der Gewichte a_i erfolgt in gleicher Weise wie für Experiment 1 und 2, indem die geschätzten Varianzen in Gleichung 4.12 eingesetzt werden und die Gleichung iterativ nach den Gewichten aufgelöst wird. Auch hier wurden negative Gewichte erwartet.

³Zur Auswertung mittels COSS-Analyse in der beschriebenen Weise diente ein Matlab-Programm, das freundlicherweise von Benjamin Pedersen, Aalborg University, zur Verfügung gestellt und für den Zweck dieses Experiments modifiziert wurde.

Ergebnisse aus COSS-Analyse Für jede Versuchsperson wurden in jeder der beiden Bedingungen “kurze“ und “lange“ Reize 20 COSS-Funktionen geschätzt, in jedem der zehn Zeitsegmente eine für die “Signal“-Reize und eine für die “Noise“-Reize. Damit wurden über alle drei Versuchspersonen und Bedingungen hinweg insgesamt 120 COSS-Funktionen geschätzt. In diesem Experiment wurden mittels linearer Regression COSS-Funktionen an die aus den Antworthäufigkeiten transformierten z-Werte angepasst. Die Parameter dieser Gleichungen finden sich im Anhang B3 (ab S. 243), gemeinsam mit dem jeweils zugehörigen Bestimmtheitsmaß R^2 . Die R^2 -Werte bescheinigen für alle Versuchspersonen für alle Segmente, die das Inkrement enthielten, eine gute Anpassung der linearen Regressionsfunktion (R^2 zwischen 0,691 und 0,996). Die R^2 -Werte in den übrigen Segmenten zeigen ein sehr inhomogenes Ergebnis hinsichtlich der Anpassungsgüte der COSS-Funktionen. Dies ist jedoch nicht überraschend, da viele der übrigen Segmente Gewichte nahe 0 zugewiesen bekommen. Dies zeigt sich in den COSS-Funktionen in einem nicht systematischen Zusammenhang zwischen dem Pegel im jeweiligen Segment und der Häufigkeit einer “Noise“- bzw. “Signal“-Antwort. Dadurch ist es auch nicht möglich, eine lineare COSS-Funktion an diese Daten gut anzupassen.

Die Abbildungen 4.5 und 4.6 zeigen jeweils einen Satz von COSS-Funktionen für eine Versuchsperson (TP) in den beiden Bedingungen “kurze Reize“ (Segmentdauer 10 ms) und “lange Reize“ (Segmentdauer 20 ms). Für jedes Zeitsegment 1 bis 10 wurden zwei COSS-Funktionen geschätzt. Die jeweils obere Funktion steht für die “Noise“-Reize, die jeweils untere Funktion für die “Signal“-Reize. Es zeigt sich hier auffallend, wie sich COSS-Funktionen für “Signal“- und “Noise“-Reize unterscheiden, besonders in den Segmenten 2 und 9, die jeweils kritisch waren im Hinblick auf das Inkrement. Die stark fallenden COSS-Funktionen in Segment 2 für die “Signal“-Reize weisen darauf hin, dass das Segment 2 stark negativ gewichtet wird, wie es die ideale Gewichtung für dieses Experiment vorsieht (siehe Abb. 4.1). Entsprechend weisen die steigenden COSS-Funktionen für die “Noise“-Reize in Segment 9 auf eine positive Gewichtung des Segments 9 hin.

Die Abbildungen 4.7 und 4.8 zeigen nun die Gewichtsfunktionen für alle drei Versuchspersonen in jeder der beiden Bedingungen “Segmentdauer 10 ms“ und “Seg-

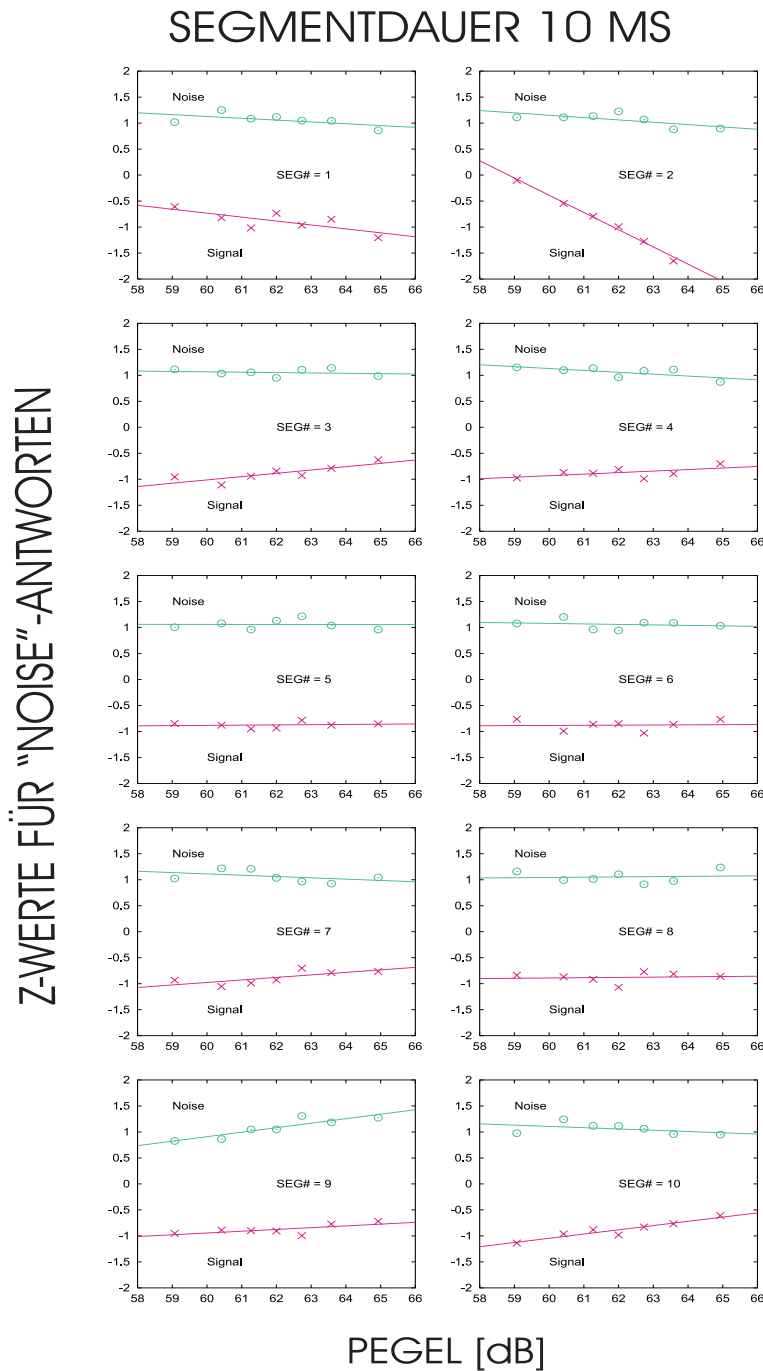


Abbildung 4.5: COSS-Funktionen für alle zehn Zeitsegmente für die Bedingung "Segmentdauer 10 ms" für Vp TP. Für jedes Zeitsegment wurden zwei COSS-Funktionen geschätzt, die obere (grün) für die "Noise"-Reize (Inkrement im 9. Segment), die untere (rot) für die "Signal"-Reize (Inkrement im 2. Segment). Je steiler eine COSS-Funktion, desto größer der Einfluss des zugehörigen Segments auf die Entscheidung der Versuchsperson. Die Datenpunkte repräsentieren hier die z-Werte der relativen Häufigkeiten von "Noise"-Antworten in Abhängigkeit der Pegel in diesem Segment. Die COSS-Funktionen wurden mittels linearer Regression angepasst.

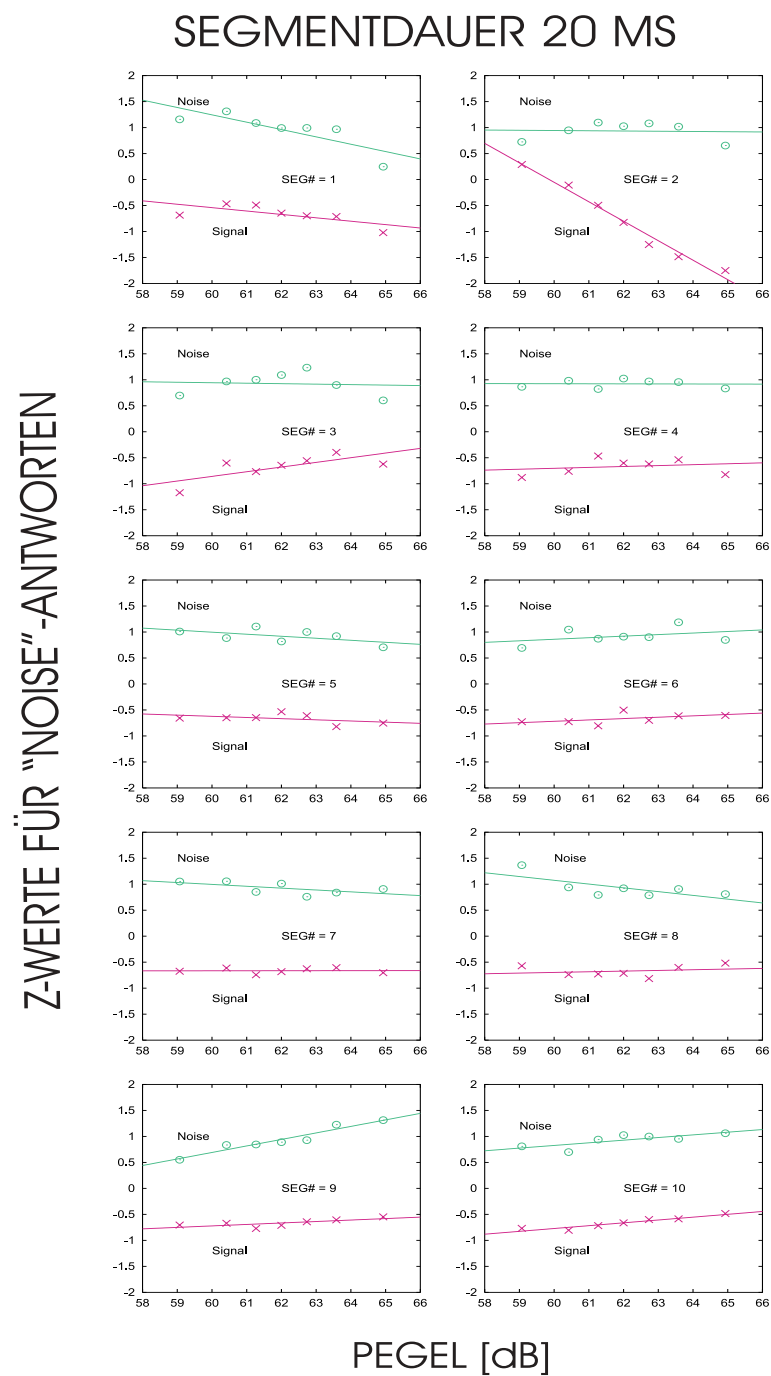


Abbildung 4.6: COSS-Funktionen für alle zehn Zeitsegmente für die Bedingung "Segmentdauer 20 ms" für Vp TP.

mentdauer 20 ms“. Hierbei steht jeweils die grüne Funktion für die Gewichte, die aus den Durchgängen mit “Noise“-Reizen resultierten, die rote Funktion für die Gewichte aus den Durchgängen mit “Signal“-Reizen. Die Gewichte sind so normiert, dass jeweils das Gewicht für das 1. Segment auf 1 oder -1 gesetzt ist. Die Normierung ist hier willkürlich. Es wurde nicht eines der Gewichte für ein Segment mit Inkrement auf 1 gesetzt, um die Unterschiede in den Gewichten der Segmente 2 und 9 besser sichtbar zu machen. Die durchgezogene Linie gibt hier die Nulllinie wieder. Man sieht hier bei jeder Versuchsperson deutliche Unterschiede in den Strategien, die auf “Signal“- und “Noise“-Reize angewendet wurden.

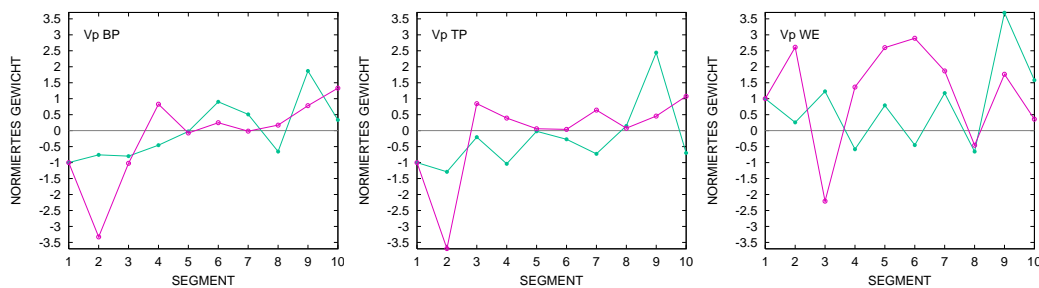


Abbildung 4.7: Gewichtsfunktionen für alle drei Versuchspersonen, Bedingung “Segmentdauer 10 ms“. Die grüne Funktion gibt die erhaltenen Gewichte für die “Noise“-Reize wieder, die rote Funktion die Gewichte für die Fälle der “Signal“-Reize. Das Gewicht für Segment 1 ist jeweils auf 1 oder -1 gesetzt.

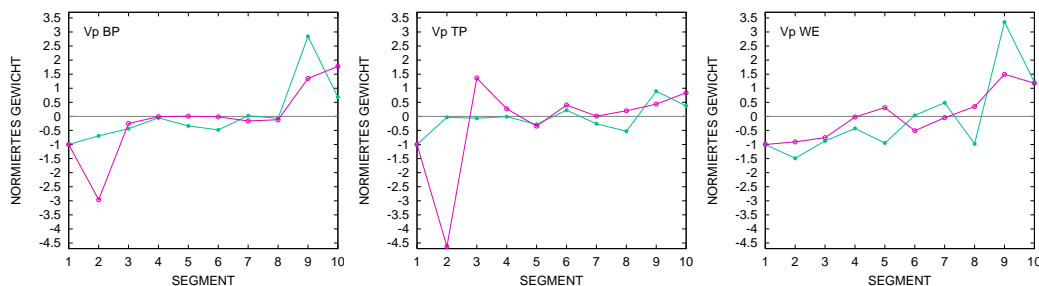


Abbildung 4.8: Gewichtsfunktionen für alle drei Versuchspersonen, Bedingung “Segmentdauer 20 ms“. Die grüne Funktion gibt die erhaltenen Gewichte für die “Noise“-Reize wieder, die rote Funktion die Gewichte für die Fälle der “Signal“-Reize. Das Gewicht für Segment 1 ist jeweils auf -1 gesetzt.

Abbildung 4.9 zeigt einen direkten Vergleich der beiden Bedingungen (Segmentdauer 10 ms vs. Segmentdauer 20 ms) für jede Versuchsperson. Die Ergebnisse für “Signal“-

Tabelle 4.3: Gewichte aus COSS-Analyse für alle drei Versuchspersonen in den Bedingungen „Segmentdauer 20 ms und 10 ms“. Das Gewicht für das 9. Segment ist hier auf 1 gesetzt.

Segment	Vp BP		Vp TP		Vp WE	
	20 ms	10 ms	20 ms	10 ms	20 ms	10 ms
1	-0,7159	-0,3976	-0,9177	-1,3337	0,3617	-0,4436
2	-1,4359	-0,6506	-2,9422	-2,3372	0,5064	-0,5060
3	-0,6441	-0,1447	0,4723	0,5303	-0,1583	-0,3560
4	0,0910	-0,0141	-0,0569	0,1064	0,1309	-0,0853
5	-0,0341	-0,0813	0,0312	-0,4044	0,6032	-0,0878
6	0,4353	-0,1182	-0,0542	0,3698	0,4242	-0,1281
7	0,1943	-0,0193	0,1924	-0,2325	0,5466	0,0742
8	-0,2009	-0,0356	0,0916	-0,3924	-0,2026	-0,0841
9	1	1	1	1	1	1
10	0,5656	0,4439	0,4755	0,6923	0,3575	0,5290

und „Noise“-Reize wurden hierfür zusammengefasst. Die Gewichtsfunktionen der drei Versuchspersonen ähneln den „idealen“ Gewichten, mit positiven Gewichten für Segment 9 und negativen Gewichten für Segment 2 für fast alle Bedingungen. Die Gewichtsfunktionen zeigen aber auch, dass sich die von den Versuchspersonen verwendeten Strategien voneinander unterscheiden. Versuchsperson BP nutzt bei den „langen“ Reizen (Segmentdauer 20 ms) die Information aus dem 9. Segment am stärksten, bei den „kurzen“ Reizen (Segmentdauer 10 ms) die Information aus dem 2. Segment. Versuchsperson TP nutzt die Information aus dem 2. Segment am stärksten, bildet Kontraste zu benachbarten Segmenten (insbesondere Segmente 3 und 8). Versuchsperson WE nutzt die Information aus dem 9. Segment am stärksten. Die Tabelle 4.3 gibt noch einmal für jede Versuchsperson die Gewichte in beiden Bedingungen an.

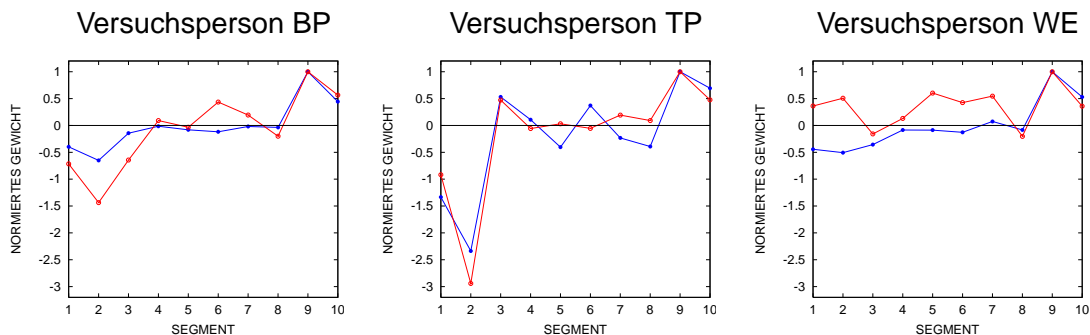


Abbildung 4.9: Mittlere Gewichte in den Bedingungen „Segmentdauer 10 ms“ (rot) und „Segmentdauer 20 ms“ (blau) für jede Vp. Das Gewicht für Segment 9 ist auf 1 gesetzt.

4.3.2.2 Logistische Regression

Modell für eine Versuchsperson Zur Schätzung der Gewichte mittels logistischer Regression, die das Antwortverhalten jeder Versuchsperson beschreiben, wird ein ähnliches Modell wie in den beiden vorhergehenden Experimenten verwendet, mit dem Unterschied, dass die Regressoren x_{ki} hier nicht mehr für die Pegeldifferenz zwischen erstem und zweitem Beobachtungsintervall stehen, da in Experiment 3 nur noch ein Intervall pro Durchgang zu beurteilen ist. Die Variablen x_{ki} stehen daher nun für die Absolutpegel in den Segmenten i im jeweiligen Durchgang k .

Es gilt der folgende Zusammenhang zwischen logarithmierter Wettchance (“odds”) und unabhängigen Regressoren:

$$\ln \left(\frac{\hat{y}_k}{1 - \hat{y}_k} \right) = \beta_0 + \sum_{i=1}^{10} \beta_i x_{ki} + \varepsilon_k \quad (4.15)$$

Regressiert wird auf die Wahrscheinlichkeit einer “Noise“-Antwort. Die Regressionskoeffizienten werden mittels Maximum Likelihood-Verfahren geschätzt.

Relevanz und Vorhersagekraft des Modells für jede einzelne Versuchsperson

Der Likelihood-Quotienten-Test gibt wie zuvor an, ob das gewählte Modell die Daten besser beschreiben kann als ein Modell, das nur die Konstante enthält. Die Tabelle 4.4 gibt die χ^2 -Werte, die Freiheitsgrade und die p-Werte für den Modelltest für die drei Versuchspersonen und beide Bedingungen (Segmentdauern 10 ms und 20 ms) wieder. Auch hier zeigt sich, dass das gewählte Modell in allen Fällen die Daten signifikant besser erklären kann, als ein Modell, das nur die Konstante enthält. Das bestätigt die Relevanz der Regressoren.

Tabelle 4.5 gibt auch hier die Vorhersagekraft des Modells wieder. Für die Versuchspersonen BP und TP werden die Antworten durch das Modell gut vorhergesagt. Auf die Strategie von Versuchsperson WE passt das gewählte Modell offensichtlich nicht so gut. Es wird hier ein deutlich geringerer Prozentsatz von Antworten richtig vorhergesagt.

Tabelle 4.4: Ergebnisse des Likelihood-Quotienten-Tests auf Modellrelevanz

Segmentdauer 10 ms						
V_p	“Signal“			“Noise“		
	χ^2	df	p	χ^2	df	p
BP	159,881	10	< 0,001	78,016	10	< 0,001
TP	286,220	10	< 0,001	36,754	10	< 0,001
WE	39,015	10	< 0,001	28,538	10	0,001

Segmentdauer 20 ms						
V_p	“Signal“			“Noise“		
	χ^2	df	p	χ^2	df	p
BP	258,416	10	< 0,001	455,144	10	< 0,001
TP	408,081	10	< 0,001	139,538	10	< 0,001
WE	71,940	10	< 0,001	93,760	10	< 0,001

Gewichte aus logistischer Regression Die β -Koeffizienten jeder Versuchsperson finden sich im Anhang C3 (ab S. 260). Signifikant von 0 verschieden werden in der Regel die Segmente, die das Inkrement enthalten bzw. enthalten können (Segment 2 und 9), sowie meist die unmittelbar benachbarten Segmente. β_0 -Koeffizienten werden für die Versuchsperson TP in beiden Bedingungen und für die Versuchsperson WE in der Bedingung “Segmentdauer 10 ms“ Reize signifikant.

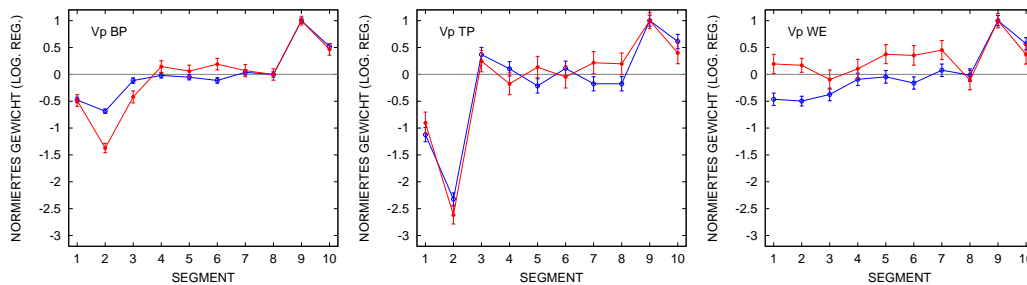


Abbildung 4.10: Mittlere Gewichte in den Bedingungen “Segmentdauer 10 ms“ (rot) und “Segmentdauer 20 ms“ (blau) für jede Versuchsperson einzeln aus logistischer Regression. Das Gewicht für Segment 9 ist auf 1 gesetzt.

Abbildung 4.10 zeigt wieder einen direkten Vergleich der beiden Bedingungen “Segmentdauer 10 ms“ und “Segmentdauer 20 ms“ für jede Versuchsperson, diesmal mit normierten Gewichten aus logistischer Regression. Das Gewicht für Segment 9 ist wieder auf 1 gesetzt. Es zeigt sich ein ganz ähnliches Muster wie in der COSS-Analyse

Tabelle 4.5: Prozentsätze der richtigen Vorhersagen durch das Modell

Segmentdauer 10 ms		
	“Signal“	“Noise“
V_p	% vorhergesagt	% vorhergesagt
BP	91,3	95,3
TP	81,5	85,4
WE	58,8	60,2

Segmentdauer 20 ms		
	“Signal“	“Noise“
V_p	% vorhergesagt	% vorhergesagt
BP	85,8	85,4
TP	78,9	82,6
WE	63,9	68,9

(siehe Abb. 4.9).

Das Gesamtmodell Auch für Experiment 3 soll mittels eines Gesamtmodells, in das die Daten aller drei Versuchspersonen in beiden Experimentalbedingungen eingehen, in der logistischen Regression überprüft werden, ob sich verschiedene Versuchsbedingungen signifikant voneinander unterscheiden. Dadurch sollen hier Faktoren identifiziert werden, die in signifikanter Weise das Ergebnis einer “Noise“-Antwort beeinflussen. Es interessiert insbesondere die Interaktion zwischen den Faktoren “Segmentdauer“ und “Zeitsegment“.

Das Gesamtmodell kann durch folgende Gleichung beschrieben werden:

$$\begin{aligned}
 \ln \left(\frac{\hat{y}_k}{1-\hat{y}_k} \right) = & \beta_0 + \sum_{i=1}^{10} \beta_i x_{ki} \\
 & + \beta_l x_{kl} + \sum_{i=1}^{10} \beta_{il} x_{ki} x_{kl} \\
 & + \varepsilon_k
 \end{aligned} \tag{4.16}$$

mit:

β_0 : Konstante

β_i : Koeffizient der i -ten unabhängigen Variablen x_{ki} ($i \in I$), in diesem Falle steht jedes i wieder für ein Zeitsegment, x_{ki} enthält den Absolutpegel im Segment i .

x_{ki} : Ausprägung der i -ten unabhängigen Variablen ($i \in I$) im k -ten Durchgang ($k \in K$), wobei x_{ki} hier für den Absolutpegel im i -ten Zeitsegment steht.

β_l : Koeffizienten der Dummy-Variablen x_{kl} für den Faktor “lange Reize“ (Segmentdauer 20 ms). Die Variablen x_{kl} nehmen den Wert 1 an, wenn die Bedingung “Segmentdauer 20 ms“ vorliegt, sonst den Wert 0.

β_{il} : Koeffizienten für die Interaktion zwischen “Segmentdauer 20 ms“ und dem Pegel in den zehn Zeitsegmenten.

ε_i : Störterm

I : Menge der Zeitsegmente

K : Menge der Durchgänge

Tabelle 4.6: Ergebnisse aus dem Gesamtmodell aus logistischer Regression in Experiment 3. Signifikant von 0 verschiedene β -Koeffizienten sind durch Fettdruck des p -Wertes hervorgehoben.

	β -Koeffizient	Std.f.	p -value		β -Koeffizient	Std.f.	p -value
β_0	-3,536	2,493	0,156	β_l	8,233	3,490	0,018
β_1	-0,045	0,012	< 0,001	β_{1l}	-0,092	0,018	< 0,001
β_2	-0,164	0,009	< 0,001	β_{2l}	-0,073	0,014	< 0,001
β_3	-0,018	0,012	0,147	β_{3l}	-0,004	0,018	0,801
β_4	0,005	0,012	0,686	β_{4l}	-0,007	0,018	0,680
β_5	0,025	0,012	0,046	β_{5l}	-0,042	0,018	0,017
β_6	0,026	0,013	0,039	β_{6l}	-0,043	0,018	0,014
β_7	0,031	0,013	0,013	β_{7l}	-0,029	0,018	0,105
β_8	-0,001	0,012	0,961	β_{8l}	-0,010	0,018	0,573
β_9	0,157	0,009	< 0,001	β_{9l}	0,085	0,014	< 0,001
β_{10}	0,043	0,012	0,001	β_{10l}	0,083	0,018	< 0,001

Ergebnisse aus diesem Gesamtmodell Die Tabelle 4.6 zeigt die Ergebnisse aus diesem Gesamtmodell aus logistischer Regression. Signifikant werden die meisten Einzelsegmente 1 bis 10 (β_1 bis β_{10}), insbesondere die Anfangs- und Endsegmente. Der

signifikant negative β -Koeffizient für Segment 2 (β_2) und der signifikant positive β -Koeffizient für Segment 9 (β_9) reflektieren wieder die im Allgemeinen von den Versuchspersonen implizit angewandte ideale Strategie (vgl. Abb. 4.1). Auch der Haupteffekt der Segmentdauer (β_l) wird signifikant. Die Interaktionen zwischen Segmentdauer und Zeitsegment (β_{1l} bis β_{10l}) weisen ein interessantes Muster auf: Die ersten Segmente weisen ein negatives Vorzeichen auf, die Endsegmente ein positives Vorzeichen. Das spiegelt gerade die richtige Strategie wider, denn hohe Pegel am Ende eines Reizes deuten auf einen “Noise“-Reiz hin und hohe Pegel am Anfang eines Reizes auf einen “Signal“-Reiz. Die signifikanten Interaktionsterme bedeuten in diesem Zusammenhang: Liegen die Reize mit Segmentdauer 20 ms vor, dann verringert sich die Chance einer “Noise“-Antwort stärker, wenn in den ersten Segmenten ein hoher Pegel vorliegt, und sie vergrößert sich stärker, wenn in den letzten Segmenten ein hoher Pegel vorliegt, jeweils im Vergleich zur Bedingung “Segmentdauer 10 ms“. Das weist darauf hin, dass die Probanden die richtige Strategie bei den Reizen mit längerer Segmentdauer offensichtlich besser verfolgen und anwenden konnten als bei den Reizen mit einer kürzeren Segmentdauer von nur 10 ms.

4.4 Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass Versuchspersonen Lautheitsmuster in Form auf- und absteigender Rampen unterscheiden können, auch wenn die Gesamtlautheit keine Hinweise liefert. Aus den Gewichtsfunktionen wird ersichtlich, dass die Pegelinformation aus Einzelsegmenten selektiv genutzt werden kann, selbst wenn die Dauer der Segmente nur 10 ms ist.

Die Gewichtsmuster ähneln den “idealen“ Gewichten, jedoch zeigen sich z.T. deutliche Unterschiede in den Strategien der Probanden. Es zeigt sich in den hoch individuellen Gewichten auch, dass Versuchspersonen offensichtlich in der Lage sind, ihre Gewichtungsstrategien schnell, selektiv und effizient an verschiedene Aufgabenstellungen anzupassen. Dies gelingt jedoch nicht allen Probanden gleich gut.

Interessant ist, dass sich die Gewichte besonders für die Segmente 2 und 9 jeweils unterscheiden, wenn es sich um einen “Signal“- oder einen “Noise“-Reiz gehandelt hat. Dies spricht dafür, dass Versuchspersonen ihre Gewichtung auch von Durchgang zu Durchgang ändern, und daher nicht davon auszugehen ist, dass ein Hörer ein fixes Set von Gewichten auf jedes Beobachtungsintervall einer Aufgabe in gleicher Weise anwendet.

Betrachtet man, wie schon in Experiment 2, die Summe der positiven Abweichungen der Gewichte von der Ideallinie, so ergibt sich der in Abbildung 4.11 dargestellte Zusammenhang.

Die Versuchspersonen WE (blaue Punkte) und TP (grüne Punkte) passen sehr gut in das Schema, wonach positive Gewichte abseits der Zielkomponenten zu ineffizienterer Reizverarbeitung führen: je größer die Summe dieser Abweichungen von den Idealgewichten, desto schlechter wird auch die Diskriminationsleistung. Proband BP (rote Punkte) weicht von diesem Muster ab. Eine Zunahme positiver Gewichte auf Nicht-Signalkomponenten bedeutet für ihn keine Verschlechterung der Diskriminationsleistung.

Die unterschiedliche Diskriminationsleistung der Teilnehmer lässt sich möglicherweise durch unterschiedliche “auditory order thresholds“ (AOT) erklären, wenn man

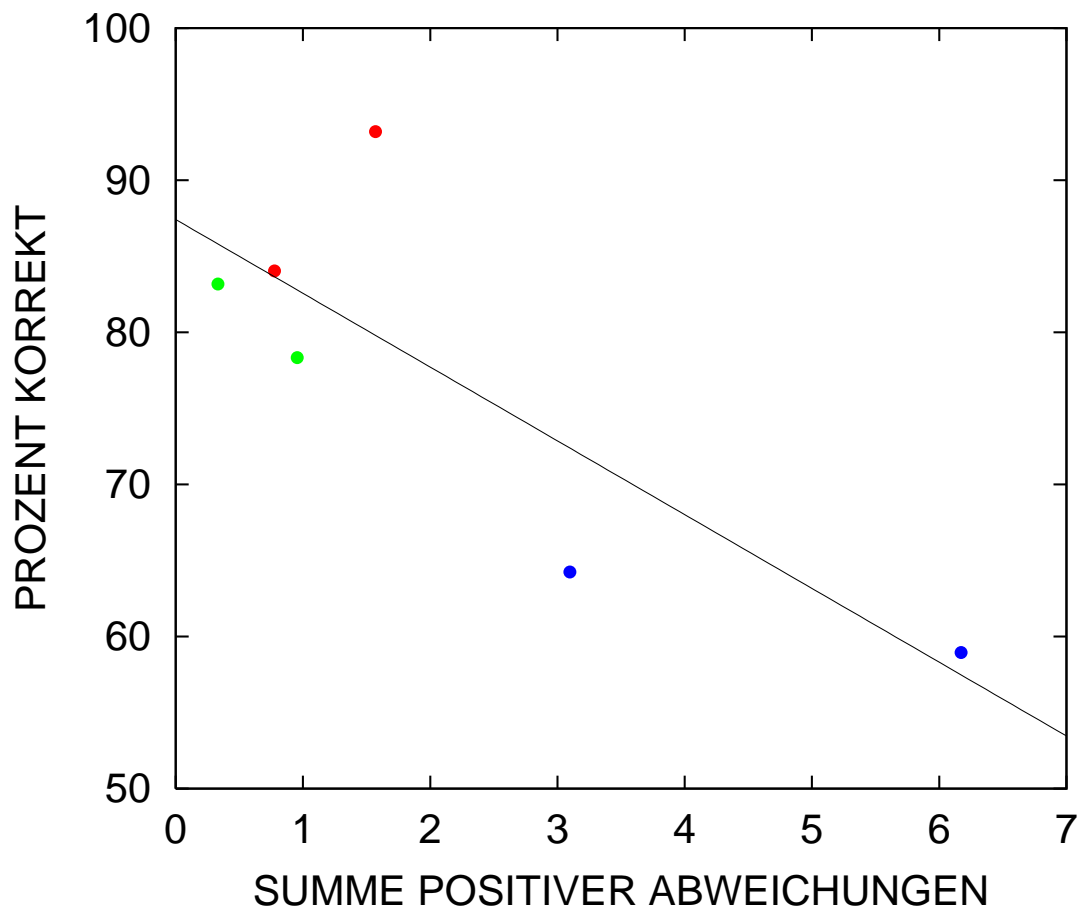


Abbildung 4.11: Diskriminationsleistung ("Prozent korrekt") aller Versuchspersonen, abgetragen in Abhängigkeit von der Summe positiver Gewichte auf Nicht-Signalkomponenten; jede Farbe gibt die Ergebnisse einer Versuchsperson wieder (rot für BP, grün für TP, blau für WE).

Experiment 3 als eine Aufgabe zur Bestimmung der Reihenfolge der akustischen Ereignisse "Pegel auf Segment 2 oder 9" interpretiert. So könnten die dargebotenen auf- und absteigenden Pegelrampen danach unterschieden werden, ob in einem Intervall ein hoher Pegel (auf Segment 2) vor einem niedrigen Pegel (auf Segment 9) zu hören war oder umgekehrt. Dazwischenliegende Segmente würden als Rauschen interpretiert, das keine verwertbare Information trägt und deshalb zu ignorieren ist. Zwischen den beiden Ereignissen, deren Reihenfolge zu bestimmen ist, läge dann im Fall der 20 ms-Segmente ein Intervall von 120 ms, im Fall der 10 ms-Segmente ein Intervall von nur 60 ms. Aus der Literatur ist bekannt (siehe z.B. von Steinbüchel, 1998), dass "auditory order thresholds" vom Alter abhängig sind. Während Kinder

unter 10 Jahren AOTs von über 100 ms aufweisen, sinkt die Schwelle für junge Erwachsene (bis ca. 25 Jahre) auf 20-40 ms und steigt für ältere Erwachsene wieder auf ca. 60 ms an. Da mit Versuchsperson WE auch der älteste der drei Teilnehmer die größten Schwierigkeiten mit der Unterscheidung der auf- und absteigenden Pegelrampen hatte, könnte dies auf einen ähnlichen Mechanismus wie bei der Bestimmung der Reihenfolge von akustischen Ereignissen zurückzuführen sein.

Betrachtet man die Hypothese, ein "Noise"-Reiz mit dem Inkrement am Ende sollte leichter erkannt werden als ein "Signal"-Reiz mit dem Inkrement am Anfang, so bestätigen die Daten dies. Werden die Daten aller drei Versuchspersonen zusammengefasst, so wurden 79,2% der "Noise"-Reize und 74,7% der "Signal"-Reize richtig erkannt. Dieses Muster bestätigt sich auch, wenn die Ergebnisse über Versuchspersonen und Bedingungen hinweg verglichen werden. Wie Tabelle 4.7 zeigt, weicht nur ein Fall (Vp BP, "Segmentdauer 20 ms") davon ab.

Tabelle 4.7: Prozentsatz richtig erkannter "Signal"- und "Noise"-Reize

<i>Vp</i>	"Segmentdauer 10 ms"		"Segmentdauer 20 ms"	
	"Signal"	"Noise"	"Signal"	"Noise"
BP	91,0%	95,3%	85,4%	82,7%
TP	80,9%	85,4%	74,7%	82,1%
WE	56,8%	60,9%	59,4%	69,0%

Dieses Ergebnis war zu erwarten, wenn davon ausgegangen wird, dass besonders die sensorischen Spuren früher Reizkomponenten von nachfolgenden überschrieben werden können, bevor sie Bestandteil der Reizrepräsentation werden konnten. Interessanterweise schlägt sich die Gewichtungsstrategie (vgl. Abb. 4.9) der Teilnehmer BP und TP nicht in den Prozentsätzen richtiger Antworten nieder. Versuchsperson BP wechselt ihre Strategie zwischen "Segmentdauer 10 ms" und "Segmentdauer 20 ms". Bei "Segmentdauer 10 ms" erhält Segment 2 ein relativ höheres Gewicht als Segment 9, dennoch wird ein höherer Prozentsatz der "Noise"-Reize besser erkannt. Bei "Segmentdauer 20 ms" verhält es sich genau umgekehrt. Segment 9 erhält, relativ gesehen, das höhere Gewicht, aber ein höherer Prozentsatz der "Signal"-Reize wird

richtig erkannt. Bei Versuchsperson TP erreicht in jeder Bedingung Segment 2 jeweils größere Gewichte als Segment 9, dennoch werden “Noise“-Reize mit dem Inkrement auf Segment 9 häufiger richtig erkannt als “Signal“-Reize. Nur bei Versuchsperson WE spiegelt die Gewichtungsstrategie auch die Diskriminationsleistung wider. WE legt immer das größte Gewicht auf Segment 9 und erkennt auch die “Noise“-Reize häufiger richtig als die “Signal“-Reize.

Es ist also eine Tendenz zu erkennen, dass Inkremente am Ende eines Reizes einen Vorteil bei der Entdeckung gegenüber Inkrementen am Beginn eines Reizes haben. Das folgende Experiment soll nun genauer untersuchen, welchen Einfluss die zeitliche Position auf die Entdeckung eines Inkrements in Lautheitsprofilen hat, indem die Position systematisch variiert wird und die Diskriminationsleistung erhoben und verglichen wird.

Kapitel 5

Experiment 4

5.1 Der Einfluss der zeitlichen Position des Inkrements auf die Unterscheidbarkeit von Lautheitsprofilen

Die vorhergehenden Experimente haben gezeigt, dass menschliche Probanden in der Lage sind, bis zu 10 ms kurze Einzelkomponenten eines Reizes hinsichtlich der enthaltenen Pegelinformation zu analysieren. Versuchspersonen können also Lautheitsprofile gut unterscheiden: Es gelingt ihnen festzustellen, *ob* sich in einem nicht-stationären Pegelverlauf ein Inkrement befindet (Experiment 2) und auch *an welcher Stelle* im Reiz (Anfang oder Ende des zeitlichen Verlaufs) sich dieses Inkrement befindet (Experiment 3).

Nun stellt sich die Frage nach den Parametern, die die Güte der Diskriminationsleistung bei dieser Wahrnehmungsaufgabe beeinflussen. Die Experimente zur Lautheitsintegration (Schrödl, 2001; Werner, 2002 und Experiment 1 dieser Arbeit) zeigen einen deutlichen Primacy-Effekt, zum Teil auch einen Recency-Effekt im Gewichtsmuster. D.h., Anfang und Ende eines Reizintervalls werden stärker berücksichtigt als mittlere Zeitsegmente. Die Gewichtsfunktionen aus der zeitlichen Profilanalyse in Experiment 2 (Abbildung 3.6 auf Seite 98) weisen ebenfalls für einige Versuchspersonen die Tendenz auf, Anfangs- und Endsegmenten ein stärkeres Gewicht zu geben, selbst wenn es für die Aufgabenstellung eher hinderlich ist.

Was passiert nun, wenn das Inkrement nicht in der Mitte eines Zeitintervalls auftritt, sondern am Anfang oder Ende zu finden ist? Haben diese Positionen Vorteile in der Entdeckung des Inkrements gegenüber mittleren Segmenten?

In Experiment 3 wurden Reize mit dem Inkrement am Anfang solchen mit dem Inkrement am Ende gegenübergestellt. Ein Inkrement am Ende eines Reizes zu entdecken, erwies sich hier als die leichtere Aufgabe (siehe Tabelle 4.7 auf Seite 143). In Experiment 4 wird nun die Position des Inkrements systematisch in zehn Zeitsegmenten variiert. Damit soll der Einfluss der Inkrementposition auf die Diskriminationsleistung direkt untersucht werden.

Frühere Studien legen nahe, dass bei der Entdeckung von Veränderungen in auditiven Sequenzen die zeitliche Position der Veränderung einen systematischen Effekt auf die Entdeckbarkeit hat. Bei den untersuchten auditiven Sequenzen handelte es sich jedoch in der Regel um Tonmuster, nicht um Lautheitsmuster.

McFarland & Cacace (1992) verwendeten Sequenzen bestehend aus 7, 9, 11 oder 13 Tönen mit einer Dauer von 200 ms. Die Töne konnten jeweils eine von zwei gut zu unterscheidenden Frequenzen annehmen. Aus diesen Frequenzen wurden zufällige zeitliche Muster zusammengesetzt. In einem 3IFC-Verfahren waren jeweils zwei Tonsequenzen identisch. Versuchspersonen mussten das Reizintervall finden, das die abweichende Tonsequenz enthielt. Die Sequenzen unterschieden sich jeweils in einem Ton, dessen Position systematisch variiert wurde. Als abhängige Variable wurde die Entdeckungsleistung in "Prozent korrekt" gemessen. Es zeigte sich, dass es den Probanden dann am leichtesten fiel, das abweichende Tonmuster zu entdecken, wenn die Abweichung am Anfang oder Ende einer Sequenz auftrat. Diese Positionen hatten klare Vorteile bei der Entdeckung von Reizveränderungen gegenüber mittleren Positionen, unabhängig von der Gesamtlänge einer Sequenz. McFarland & Cacace fanden also einen klaren Primacy- und Recency-Effekt. In McFarland & Cacace (1995) wurden die gleichen Reize dargeboten, diesmal aber die Probandenleistung in der beschriebenen 3IFC-Aufgabe verglichen mit einer Reproduktionsaufgabe. In letzterem Paradigma wurde eine Tonsequenz, bestehend aus zufällig aufeinander folgenden hohen (1000 Hz) und tiefen (500 Hz) Tönen, nur einmal dargeboten, und Versuchspersonen mussten die Reihenfolge hoher und tiefer Töne reproduzieren. Bei

Sequenzen von 11 Tönen ergab sich in der Reproduktionsaufgabe kein Recency-Effekt mehr, sondern nur noch ein klarer Primacy-Effekt.

In den Experimenten von Watson et al. (1975) sollten Versuchspersonen in Sequenzen bestehend aus zehn Tönen unterschiedlicher Frequenz mit einer Dauer von je 40 ms Veränderungen in einer tonalen Komponente entdecken. In einer Gleich-Verschieden-Aufgabe wurden jeweils zwei solcher Tonsequenzen dargeboten, wobei sich ein Ton in seiner Frequenz in einer Sequenz von der anderen unterscheiden konnte. Versuchspersonen mussten angeben, ob sie zwei identische oder verschiedene Tonmuster gehört hatten. Watson et al. (1975) variierten u.a. systematisch die zeitliche Position des veränderten Tones in der Sequenz. Gemessen wurden Schwellen für gerade noch entdeckbare Frequenzunterschiede. Es zeigte sich hier ein starker Recency-Effekt. Tonmuster konnten dann am besten unterschieden werden, wenn die letzte Komponente verändert war. Auch zeigte sich eine Verbesserung in der Diskriminationsleistung, wenn die Veränderung zwischen Komponente 7 und 10 in der Tonsequenz auftrat, das entspricht den letzten 150 bis 180 ms einer Sequenz.

Surprenant (2001) untersuchte ebenfalls Positionseffekte in einer Fünftonsequenz. In einer Gleich-Verschieden-Aufgabe wurde jeweils eine Komponente der Sequenz in ihrer Frequenz verändert. Die Veränderung konnte auf allen Positionen auftreten. Versuchspersonen wussten nicht, welcher Ton verändert sein würde. Gemessen wurde die Diskriminationsleistung in "Prozent korrekt" in Abhängigkeit der Position der veränderten tonalen Komponente und des Inter-Stimulus-Intervalls (ISI). Es zeigte sich auch hier ein starker Recency-Effekt. Die Diskriminationsleistung war im Allgemeinen höher, wenn die letzte Komponente verändert war. Jedoch wurde mit länger werdendem ISI auch ein zunehmender Primacy-Effekt sichtbar.

Lutfi (1992) bot zehnkomponentige Tonsequenzen dar, vergleichbar denen von Watson et al. (1975) verwendeten, bestehend aus 30 ms langen Tönen unterschiedlicher Frequenz. Lutfi verwendete ein 2IFC-Paradigma. Jeweils ein Zielton in der Sequenz stammte in einem Beobachtungsintervall aus einer Verteilung mit höherer mittlerer Frequenz als im Vergleichsintervall. Lutfi untersuchte Positionseffekte, indem die Position des Zieltons in drei Bedingungen (1, 6 und 10) variiert wurde, und maß die

Diskriminationsleistung in d' in Abhängigkeit von der Zieltonposition. Es resultierte auch hier ein klarer Recency-Effekt mit höheren d' -Werten für die Bedingung, in der der Zielton die zehnte Position einnahm. Lutfi berechnete auch Gewichtsfunktionen für dieses Experiment, die angeben, welchen Beitrag jede Sequenzkomponente zur Antwort einer Versuchsperson leistet. Es zeigt sich, dass Hörer in der Lage sind, ihre Gewichte den dargebotenen Reizmustern anzupassen. In den drei Bedingungen mit unterschiedlichen Zieltonpositionen bekommt jeweils die Zieltonkomponente auch das höchste relative Gewicht. In der Bedingung mit dem Zielton am Ende des Reizes wird dieser jedoch im Vergleich zu anderen Zieltonpositionen besonders akzentuiert.

Alle hier vorgestellten Studien untersuchten Positionseffekte bei der Entdeckung von Frequenzunterschieden in Tonmustern. Experiment 4 der vorliegenden Arbeit wendet sich nun der Frage zu, ob ähnliche Phänomene bei der Unterscheidung von Lautheitsmustern auftreten, wenn die Position einer Intensitätsspitze systematisch variiert wird.

5.2 Methode

5.2.1 Versuchspersonen

An diesem Experiment nahmen sechs Versuchspersonen zwischen 22 und 30 Jahren teil. Das Durchschnittsalter betrug 25,34 Jahre, der Median des Alters 24 Jahre. Drei Teilnehmer waren männlich, drei weiblich. Fünf Versuchspersonen waren Psychologie-Studenten der Universität Regensburg im Grund- und Hauptstudium. Sie erhielten für ihre Teilnahme Versuchspersonen- und Forschungsstunden im Rahmen der Prüfungsordnung bescheinigt. Eine Teilnehmerin war die Versuchsleiterin. Alle Versuchspersonen waren Normalhörer. Ein Hörtest mittels Screening-Audiometer (MADSEN ELECTRONICS MICROMATE 304D) ergab für alle Teilnehmer Hörschwellen von 20 dB HL oder besser für reine Töne von 250 bis 8000 Hz. Mit Ausnahme der Versuchsleiterin (TP) hatten alle Versuchspersonen keine Vorerfahrungen mit dieser Art von psychoakustischen Experimenten.

5.2.2 Versuchsanordnung

5.2.2.1 Apparatur

Die Erzeugung der Reize für Experiment 4 entsprach der für Experiment 2. Die dargebotenen Reize waren Weißes Rauschen.

5.2.2.2 Reizmaterial

Die Reize in Experiment 4 entsprachen genau denen des Experiments 2, mit der Ausnahme, dass hier nun die zeitliche Position der Intensitätsspitze von 4 dB in zehn Bedingungen variiert wurde. Sie befand sich in jeder Bedingung auf einem der zehn Zeitsegmente des "Signal"-Reizes. Beim "Noise"-Reiz fehlte die Intensitätsspitze. Bei der Gesamtdauer der Reize wurden ebenfalls zwei Bedingungen unterschieden, die denen in Experiment 2 entsprachen. In Bedingung 1 betrug die Gesamtdauer eines Reizes 1000 ms. Ein Segment war also 100 ms lang. In Bedingung 2 betrug die Gesamtdauer eines Reizes 200 ms. Ein Einzelsegment hatte entsprechend eine Dauer von nur 20 ms. Die schematische Darstellung der Reizsituation entspricht der in Abbildung 3.2 auf Seite 84, mit dem Unterschied, dass nun das Inkrement abwechselnd auf jeder der

zehn Positionen auftrat.

5.2.3 Versuchsablauf

5.2.3.1 Struktur eines Durchgangs

Das generierte Weiße Rauschen wurde auch hier in einem Two-Interval-Forced-Choice-Verfahren (2IFC) dargeboten. Ein Durchgang entsprach im Wesentlichen dem in Experiment 2, mit dem genannten Unterschied der wechselnden Inkrementposition. Die Versuchsperson musste entscheiden, welcher von beiden Reizen die Intensitätsspitze enthielt, und gab ihre Antwort durch Drücken einer der beiden Tasten an den Armlehnen ihres Sessels. Nach 500 ms folgte das nächste Reizpaar. Feedback erfolgte wie in Experiment 2 in jedem Durchgang.¹

5.2.3.2 Versuchsplan

Auch in Experiment 4 wurde in der ersten Sitzung mit den Probanden der Hörtest durchgeführt und ihnen einige erste Übungsblöcke präsentiert. Die Instruktion erfolgte schriftlich (siehe Anhang A2, S. 224), mit der Möglichkeit für die Probanden, Fragen zum Experiment zu stellen. Wenn sie angaben, dass ihnen die Aufgabenstellung klar war, absolvierte jede Versuchsperson sechs Übungsblöcke, drei in Bedingung 1 ("Segmentdauer 100 ms") und drei in Bedingung 2 ("Segmentdauer 20 ms"). Ob zuerst die Übungsblöcke mit "Segmentdauer 100 ms" oder mit "Segmentdauer 20 ms" absolviert wurden, wurde zufällig entschieden. In jeder der beiden Bedingungen wurden die Probanden schrittweise an die Schwierigkeit der Aufgabenstellung herangeführt, indem die Größe der Intensitätsspitze immer weiter verringert wurde. Der erste Übungsblock mit 20 Durchgängen enthielt ein Inkrement von 8 dB. Beim zweiten Übungsblock mit 50 Durchgängen wurde es auf 6 dB verringert, um schließlich im dritten Übungsblock mit 100 Durchgängen 4 dB zu erreichen. Damit entsprach jeweils der dritte Übungsblock in jeder Bedingung der Reizdarbietung in der folgenden Experimentalsituation. Dieses Vorgehen war damit vergleichbar mit der Vorbereitung auf die Datenerhebung in Experiment 2. Dass sich hier die Inkremente auf verschiedenen Positionen befanden, wurde in den Übungsblöcken dadurch berücksichtigt, dass die Position des Inkrements

¹Das Feedback wurde in gleicher Weise wie in Experiment 2 gegeben.

in jedem Übungsblock ebenfalls zufällig bestimmt wurde. Die Probanden wussten jeweils, auf welcher Position sich das Inkrement in einem Block befand. Eine Skizze, auf der der Reiz mit der Intensitätsspitze in der jeweiligen Position schematisch dargestellt war, war für die Probanden während jedes Blocks sichtbar und sollte ihnen als Hilfe und Gedächtnisstütze dienen.

Während der eigentlichen Datenerhebung absolvierte jede Versuchsperson insgesamt 6000 Durchgänge, jeweils 3000 in Bedingung 1 (Segmentdauer 100 ms) und 3000 in Bedingung 2 (Segmentdauer 20 ms). In jeder der zehn Positionen (Segmente) wurden 600 Durchgänge absolviert - 300 in Bedingung 1 und 300 in Bedingung 2. Die Daten wurden in 6 Zufallsfolgen erhoben. In jeder Zufallsfolge wurden Blöcke zu je 50 Durchgängen mit dem Inkrement an jeder der zehn Positionen und in beiden Bedingungen ("Segmentdauer 100 ms" und "Segmentdauer 20 ms") absolviert. Innerhalb eines Blockes mit 50 Durchgängen wechselte weder die Bedingung, noch die Position des Inkrements. Den Versuchspersonen wurde Art (Bedingung) des Reizes und Position des Inkrements vor dem Starten jedes Blocks mitgeteilt. Eine Skizze des Reizes mit dem Inkrement an der richtigen Stelle diente in jedem Block als Gedächtnisstütze und Orientierung. Jede Versuchsperson konnte sich beliebig einteilen, wieviele Blöcke sie in einer Sitzung absolvieren wollte. Die Dauer einer Sitzung variierte entsprechend nach den individuellen Wünschen jeder Versuchsperson zwischen 30 und 120 Minuten. Nach jedem Block bestand die Möglichkeit, eine kurze Pause zu machen.

Zu Beginn jeder Sitzung fanden Übungsblöcke zu je 20 Durchgängen in beiden Bedingungen ("Segmentdauer 100 ms" und "Segmentdauer 20 ms") statt.

Tabelle 5.1 gibt einen Überblick über den Versuchsplan des Experiments 4.

Tabelle 5.1: Überblick über den Versuchsplan für Experiment 4. Das Experiment war nach 6 Zufallsfolgen mit je 20 Experimentalblöcken (Exp.B) abgeschlossen. Übungsblöcke (ÜB) wurden in der ersten Sitzung, sowie zu Beginn jeder folgenden Sitzung absolviert.

	<i>Art des Blocks</i>		<i>Segmentdauer</i>	<i>Durchgänge</i>	<i>Inkrement</i>
Sitzung 1	ÜB 1		100 ms	20	8 dB
	ÜB 2		100 ms	50	6 dB
	ÜB 3		100 ms	100	4 dB
Sitzung 1	ÜB 1		20 ms	20	8 dB
	ÜB 2		20 ms	50	6 dB
	ÜB 3		20 ms	100	4 dB
	<i>Art des Blocks</i>		<i>Segmentdauer</i>	<i>Durchgänge</i>	<i>Inkrement</i>
ab Sitzung 2	ÜB		100 ms	20	4 dB
	ÜB		20 ms	20	4 dB
Zufallsfolge 1	Exp.B	1 bis 20	100 ms od. 20 ms	50	4 dB
Zufallsfolge 2	Exp.B	21 bis 40	100 ms od. 20 ms	50	4 dB
Zufallsfolge 3	Exp.B	41 bis 60	100 ms od. 20 ms	50	4 dB
Zufallsfolge 4	Exp.B	61 bis 80	100 ms od. 20 ms	50	4 dB
Zufallsfolge 5	Exp.B	81 bis 100	100 ms od. 20 ms	50	4 dB
Zufallsfolge 6	Exp.B	101 bis 120	100 ms od. 20 ms	50	4 dB

5.3 Ergebnisse

5.3.1 Antwortgüte

In diesem Experiment ist die Antwortgüte, also die Unterschiede der Prozent-korrekt-Werte in den einzelnen Bedingungen mit dem Inkrement an verschiedenen Positionen des Reizes bzw. das Sensitivitätsmaß d' , die eigentlich interessierende Variable. Es wird zunächst die Entwicklung der Antwortgüte über die Zeit dargestellt, um etwaigen Übungseffekten auf den Grund zu gehen. Danach folgt die Darstellung der Sensitivität in Abhängigkeit der Position des Inkrements im Reiz.

5.3.1.1 Entwicklung der Antwortgüte über die Zeit

Die Abbildungen 7.6, 7.7 und 7.8 im Anhang D (S. 263 - 265) zeigen die Entwicklung der Prozent-korrekt-Werte über die Zeit für alle sechs Versuchspersonen in den Bedingungen "Inkrement auf Segment 1 bis 10" für die "langen" Reize (Segmentdauer 100 ms) und die "kurzen" Reize (Segmentdauer 20 ms). In den Daten sind keine systematischen Übungseffekte über den Untersuchungszeitraum hinweg zu beobachten.

5.3.1.2 Antwortgüte in Abhängigkeit der Position des Inkrements im Reiz

Die Tabelle 5.2 zeigt die mittleren, minimalen und maximalen Prozent-korrekt-Werte pro Block für jede Versuchsperson und Inkrementposition für die Bedingung "Segmentdauer 100 ms", die Tabelle 5.3 für die Bedingung "Segmentdauer 20 ms".

Tabelle 5.2: Prozent-korrekt-Werte (PK) für alle sechs Versuchspersonen mit dem Inkrement auf allen zehn Positionen, Segmentdauer 100 ms.

Inkrement auf Segment	Prozent-korrekt-Werte für 6 Versuchspersonen, Segmentdauer 100 ms					
	Vp AT			Vp HR		
	<i>mittl. PK</i>	<i>min. PK</i>	<i>max. PK</i>	<i>mittl. PK</i>	<i>min. PK</i>	<i>max. PK</i>
1	69,67	48	78	49,33	44	56
2	77,67	74	86	50,33	38	62
3	74,33	66	86	52	46	60
4	76,67	62	90	51	46	56
5	69	58	78	45	34	54
6	69,67	58	78	50,33	46	54
7	74,33	66	78	54	44	68
8	68,67	64	78	51,67	44	58
9	70,67	64	78	48,33	36	62
10	83,33	78	92	49,67	44	62
Inkrement auf Segment	Vp NA			Vp PE		
	<i>mittl. PK</i>	<i>min. PK</i>	<i>max. PK</i>	<i>mittl. PK</i>	<i>min. PK</i>	<i>max. PK</i>
1	67	60	72	74	58	86
2	65,67	56	70	66	56	76
3	73	68	80	68,33	64	74
4	75,33	68	86	66	58	78
5	68,33	58	76	69	54	82
6	69	58	76	69,67	62	82
7	70,33	64	76	67,33	64	72
8	70	54	80	69	62	80
9	70	58	80	67,33	56	82
10	86,67	82	92	78,67	74	84
Inkrement auf Segment	Vp TH			Vp TP		
	<i>mittl. PK</i>	<i>min. PK</i>	<i>max. PK</i>	<i>mittl. PK</i>	<i>min. PK</i>	<i>max. PK</i>
1	57,67	40	78	66	58	72
2	56,67	42	64	66	54	74
3	63	46	70	69,67	66	76
4	64,33	54	78	56,33	46	72
5	61,33	54	70	66	56	70
6	63	54	72	70,67	68	74
7	64,67	54	74	69,67	62	78
8	63	52	68	64,33	52	70
9	60,33	48	76	75,33	68	82
10	60,33	54	64	73,33	64	82

Tabelle 5.3: Prozent-korrekt-Werte für alle sechs Versuchspersonen mit dem Inkrement auf allen zehn Positionen, Segmentdauer 20 ms.

Inkrement auf Segment	Prozent-korrekt-Werte für 6 Versuchspersonen, Segmentdauer 20 ms					
	Vp AT			Vp HR		
	<i>mittl. PK</i>	<i>min. PK</i>	<i>max. PK</i>	<i>mittl. PK</i>	<i>min. PK</i>	<i>max. PK</i>
1	59,67	38	70	52,33	36	62
2	55	46	66	55,67	42	66
3	53,33	44	64	46,67	44	52
4	56,67	50	62	51	36	58
5	59	48	70	50,33	40	58
6	63,67	58	70	52,67	46	64
7	57,33	46	76	50	42	58
8	53,33	46	68	47,67	34	64
9	58	46	70	47	34	60
10	64,33	54	78	49	40	56
Inkrement auf Segment	Vp NA			Vp PE		
	<i>mittl. PK</i>	<i>min. PK</i>	<i>max. PK</i>	<i>mittl. PK</i>	<i>min. PK</i>	<i>max. PK</i>
1	53,67	44	70	60,67	50	70
2	50,33	36	56	50,67	44	60
3	63	54	74	59	54	64
4	65,33	58	74	66,33	58	82
5	61,33	48	68	66,67	54	76
6	68,33	56	74	63,67	56	70
7	64,67	56	70	65,33	56	72
8	65	50	72	67	58	74
9	59,33	52	68	67,67	58	76
10	64,67	58	70	69	60	82
Inkrement auf Segment	Vp TH			Vp TP		
	<i>mittl. PK</i>	<i>min. PK</i>	<i>max. PK</i>	<i>mittl. PK</i>	<i>min. PK</i>	<i>max. PK</i>
1	55,67	50	60	67,67	60	78
2	54,67	42	60	58	46	70
3	57,33	46	68	57	44	64
4	62,67	56	68	64,67	58	70
5	60	54	72	62,33	54	80
6	55,33	42	76	64	58	66
7	61,33	52	68	66,33	56	72
8	56,67	54	62	70	62	76
9	60	46	68	65	58	70
10	59,67	46	76	66,33	60	70

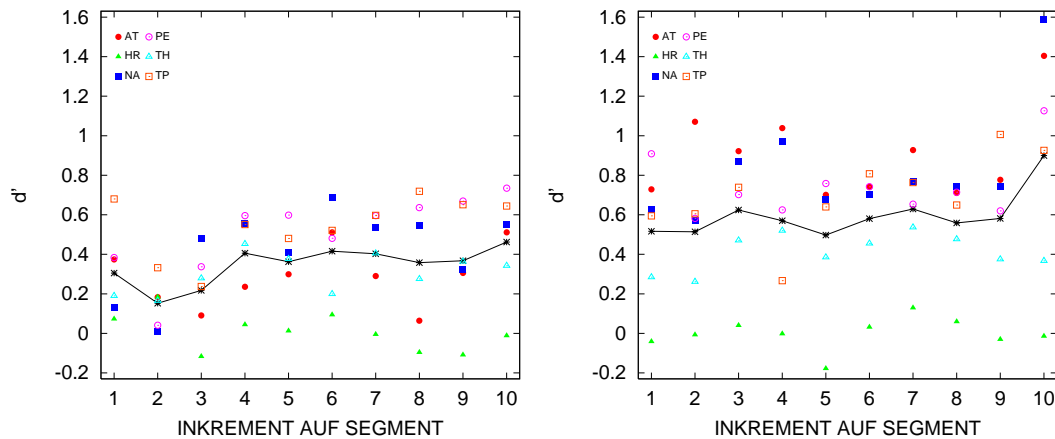


Abbildung 5.1: d' -Werte für alle 6 Versuchspersonen in Abhängigkeit der Inkrementposition, links für die “kurzen” Reize (Segmentdauer 20 ms) und rechts für die “langen” Reize (Segmentdauer 100 ms). Die durchgezogene Linie verbindet das jeweilige arithmetische Mittel über die 6 Versuchspersonen.

5.3.2 Sensitivitätsmaß d'

Nach Macmillan & Creelman (1991) wurde in jeder Bedingung und Inkrementposition ein d' für ein 2IFC-Paradigma berechnet. In diesem Paradigma werden als “Hits” und “False Alarms” folgende Antwortkonstellationen bezeichnet:

$$\begin{aligned} H &= P(\text{Antwort “Signal in Intervall 1”} | \text{Signal in Intervall 1}) \\ F &= P(\text{Antwort “Signal in Intervall 1”} | \text{Signal in Intervall 2}) \end{aligned} \quad (5.1)$$

Diese Antworthäufigkeiten liegen für jede Bedingung und Inkrementposition für jede Versuchsperson vor.

d' berechnet sich dann nach der Formel

$$d' = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \right) [z(H) - z(F)] \quad (5.2)$$

Die so berechneten d' -Werte sind in Tabelle 5.4 wiedergegeben.

Abbildung 5.1 zeigt die d' -Werte für alle 6 Versuchspersonen in Abhängigkeit der Position des Inkrements, links für die “kurzen” Reize (Segmentdauer 20 ms) und rechts für die “langen” Reize (Segmentdauer 100 ms).

Tabelle 5.4: d'-Werte für alle sechs Versuchspersonen mit dem Inkrement auf allen zehn Positionen in den Bedingungen "Segmentdauer 20 ms" und "Segmentdauer 100 ms".

d' - Segmentdauer 20 ms						
Inkrement auf Segment	Vp AT	Vp HR	Vp NA	Vp PE	Vp TH	Vp TP
1	0,3740	0,0729	0,1307	0,3838	0,1899	0,6799
2	0,1834	0,1839	0,0096	0,0408	0,1651	0,3324
3	0,0909	-0,1168	0,4786	0,3368	0,2788	0,2372
4	0,2358	0,0445	0,5569	0,5958	0,4525	0,5505
5	0,2991	0,0126	0,4082	0,5984	0,3766	0,4803
6	0,5109	0,0944	0,6870	0,4813	0,1992	0,5212
7	0,2903	-0,0052	0,5340	0,5954	0,4054	0,5973
8	0,0641	-0,0959	0,5475	0,6365	0,2755	0,7191
9	0,3062	-0,1087	0,3238	0,6688	0,3637	0,6511
10	0,5109	-0,0116	0,5523	0,7343	0,3421	0,6444

d' - Segmentdauer 100 ms						
Inkrement auf Segment	Vp AT	Vp HR	Vp NA	Vp PE	Vp TH	Vp TP
1	0,7285	-0,0411	0,6254	0,9087	0,2843	0,5946
2	1,0703	-0,0071	0,5709	0,5818	0,2614	0,6053
3	0,9225	0,0404	0,8694	0,7022	0,4708	0,7388
4	1,0383	-0,0017	0,9700	0,6249	0,5199	0,2667
5	0,7012	-0,1778	0,6790	0,7581	0,3851	0,6397
6	0,7414	0,0317	0,7038	0,7417	0,4550	0,8075
7	0,9275	0,1294	0,7663	0,6539	0,5368	0,7632
8	0,7107	0,0593	0,7431	0,7143	0,4767	0,6496
9	0,7765	-0,0303	0,7415	0,6196	0,3753	1,0062
10	1,4038	-0,0143	1,5887	1,1263	0,3671	0,9260

Für beide Bedingungen (lange und kurze Segmentdauer) wurde über die d'-Werte eine Varianzanalyse für verbundene Stichproben durchgeführt.

Für die "kurzen" Reize (Segmentdauer 20 ms) ergab die Varianzanalyse, dass der Faktor "Inkrementposition" signifikant wurde; $F(9, 45) = 2,746, p = 0,012$. Führt man die gleiche Auswertung unter Ausschluss der Daten der Versuchsperson HR durch, deren d'-Werte um 0 liegen, so wird der Faktor "Inkrementposition" ebenfalls signifikant. Es ergibt sich sogar ein höherer F-Wert; $F(9, 36) = 4,026, p = 0,001$. Zudem wird ein linearer Trend signifikant. Die d'-Werte nehmen im Mittel zu, je weiter die Position des Inkrements im Intervall zeitlich nach hinten rückt; $F(1, 4) = 15,387, p = 0,017$. Im Fall der "langen" Reize (Segmentdauer 100 ms) ergab die Varianzanalyse über alle sechs Probanden ebenfalls, dass der Faktor "Inkrementposition" signifikant wurde; $F(9, 45) = 2,866, p = 0,009$ - wie auch ein linearer Trend; $F(1, 5) = 8,808, p = 0,031$. Unter Ausschluss der Daten der nahe der Rate wahr-

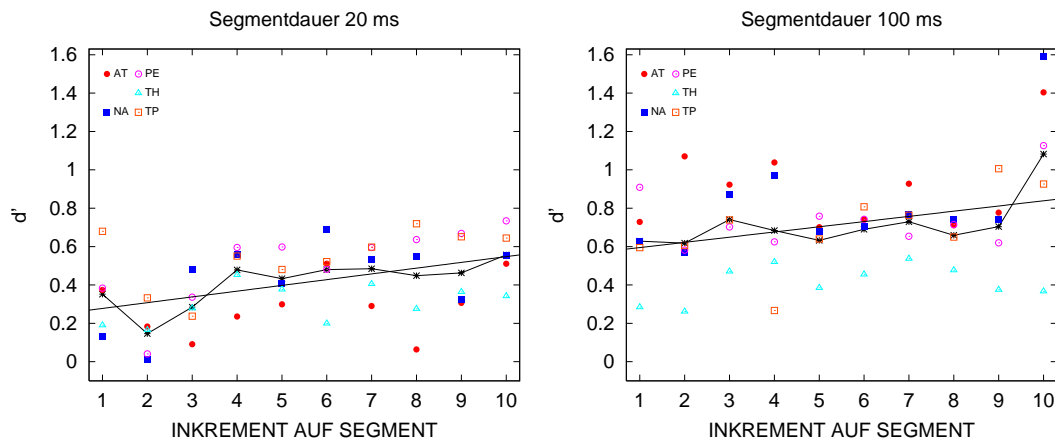


Abbildung 5.2: d'-Werte für 5 Versuchspersonen (unter Ausschluss der Vp HR) in Abhängigkeit der Inkrementposition, links für die "kurzen" Reize (Segmentdauer 20 ms) und rechts für die "langen" Reize (Segmentdauer 100 ms). Die verbundenen Sterne zeigen das jeweilige arithmetische Mittel über 5 Versuchspersonen, die durchgezogene Linie den linearen Trend.

scheinlichkeit operierenden Versuchsperson HR zeigt sich ein ganz ähnliches Ergebnis mit Signifikanz des Faktors "Inkrementposition", $F(9, 36) = 3,028, p = 0,008$, und einem signifikanten linearen Trend; $F(1, 4) = 10,189, p = 0,033$.

Abbildung 5.2 zeigt noch einmal die Ergebnisse unter Ausschluss der Versuchsperson HR. Das heißt, es sind die d'-Werte der verbleibenden 5 Versuchspersonen in Abhängigkeit der Position des Inkrements dargestellt, links für die "kurzen" Reize (Segmentdauer 20 ms) und rechts für die "langen" Reize (Segmentdauer 100 ms). Die verbundenen Sterne zeigen den Mittelwert über 5 Versuchspersonen, die durchgezogene Linie gibt den linearen Trend wieder.

5.3.3 Gewichtungsschätzung mittels logistischer Regression

Entsprechend dem Modell in Experiment 2 kann auch mit den Daten aus Experiment 4 für jede einzelne Versuchsperson und Bedingung eine logistische Regression durchgeführt werden und dadurch Gewichte für den Einfluss jedes Zeitsegments auf das Probandenurteil ermittelt werden. Erwartet werden jeweils hohe positive Gewichte auf dem Segment, das in jeder Versuchsbedingung das Inkrement enthielt, sowie negative Gewichte oder Gewichte nahe 0 für die übrigen Segmente. Durch diese Analyse soll überprüft werden, ob und wie gut es den Versuchspersonen gelang, ihre Gewichtungsfunktion an die Aufgabenstellung anzupassen und ihre Strategie je nach Inkrementposition flexibel zu modifizieren. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass für diese Analyse nur jeweils 300 Probandenurteile für die Ermittlung jeder Gewichtungsfunktion in den einzelnen Experimentalbedingungen zur Verfügung stehen. Die Gewichte der Versuchsperson HR wurden bei dieser Analyse ausgeschlossen, da die Häufigkeiten von richtigen Antworten von HR kaum über die Ratewahrscheinlichkeit hinausgingen.

Die Abbildung 5.3 zeigt die Gewichtungsfunktionen in der Bedingung “kurze“ Reize (Segmentdauer 20 ms), die Abbildung 5.4 in der Bedingung “lange“ Reize (Segmentdauer 100 ms), mit den mittleren Gewichten über fünf Probanden (durchgezogene Linie). Jede gestrichelte Linie gibt die Gewichtungsfunktion einer einzelnen Versuchsperson in der jeweiligen Bedingung wieder.

Es ist zu beobachten, dass besonders die Gewichtungsfunktionen für die Inkremente auf den ersten Segmenten bei den Reizen mit kurzer Segmentdauer keine einheitlichen Muster aufweisen. Je weiter das Inkrement entlang der Gesamtreizdauer zeitlich “nach hinten“ wandert, desto konsistenter und einander ähnlicher werden die Gewichtungsfunktionen der einzelnen Versuchspersonen.

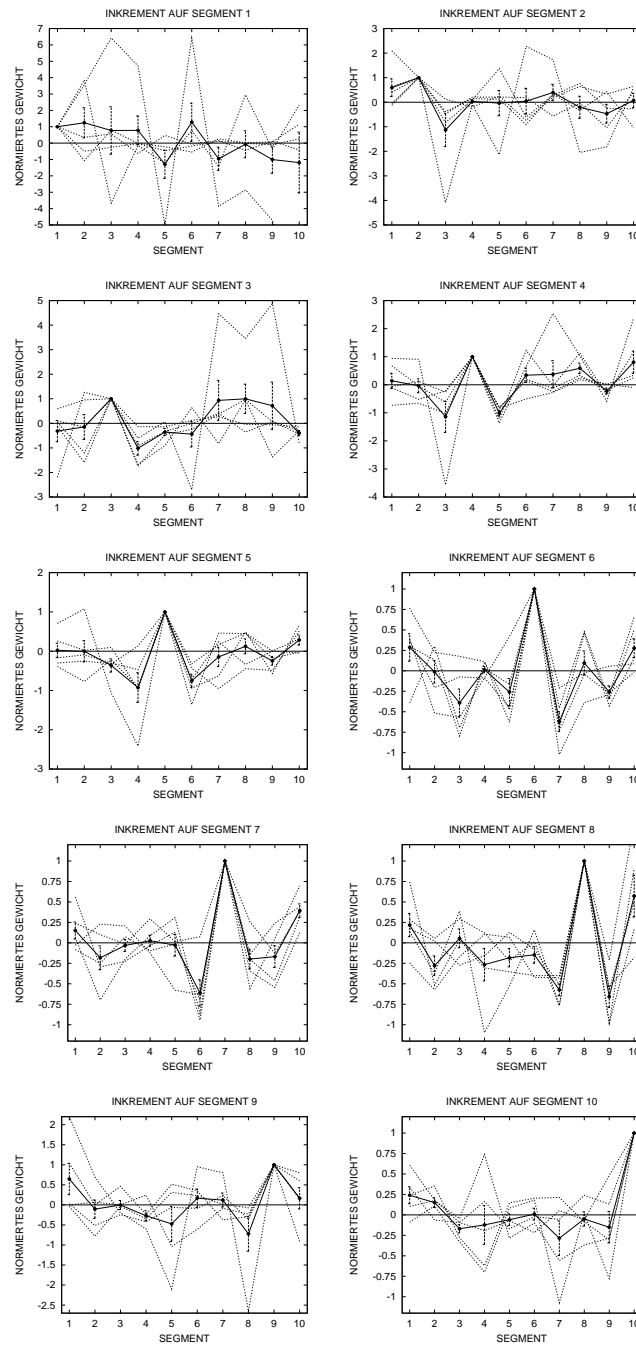


Abbildung 5.3: Gewichtsfunctonen, "kurze" Reize (Segmentdauer 20 ms), mit dem Inkrement auf allen zehn Positionen. Die durchgezogene Linie zeigt die mittleren Gewichte für jede Inkrementposition. Jede gestrichelte Linie steht für die Gewichtsfuncton einer Versuchsperson. Alle Gewichtsfunctonen sind so normiert, dass jeweils das Gewicht der Inkrementposition auf 1 gesetzt worden ist.

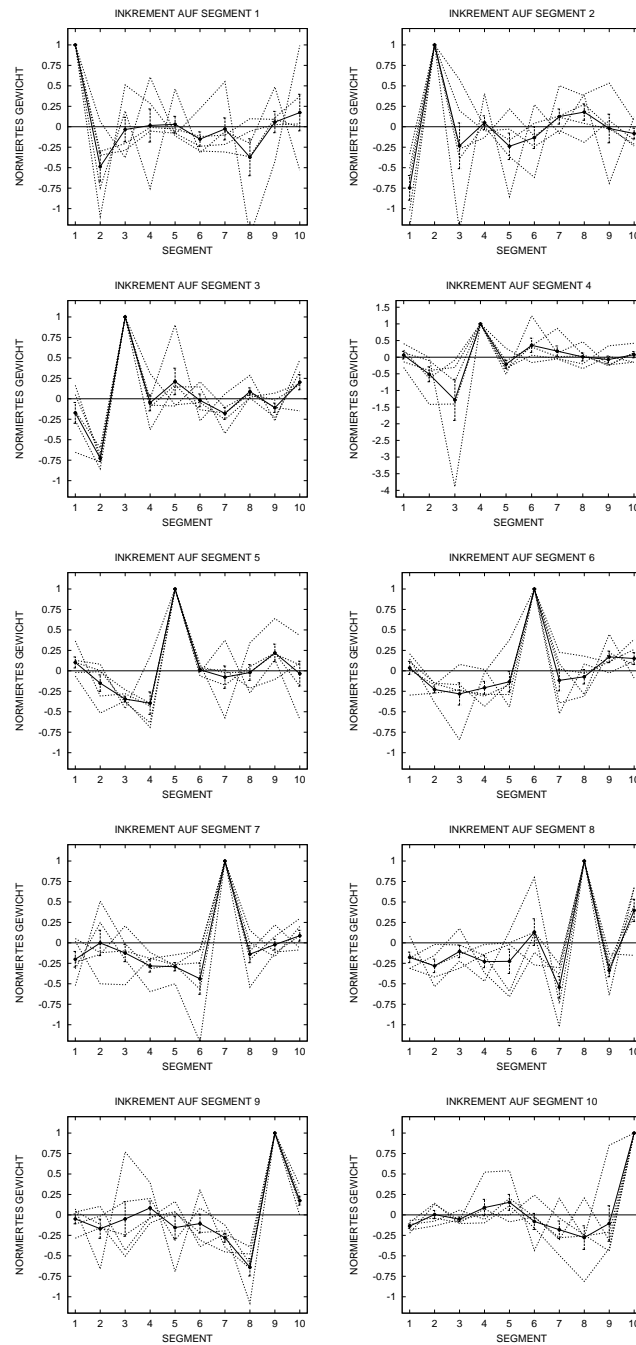


Abbildung 5.4: Gewichtsfunctonen, “lange” Reize (Segmentdauer 100 ms), mit dem Inkrement auf allen zehn Positionen. Die durchgezogene Linie zeigt die mittleren Gewichte für jede Inkrementposition. Jede gestrichelte Linie steht für die Gewichtsfuncton einer Versuchsperson. Alle Gewichtsfunctonen sind so normiert, dass jeweils das Gewicht der Inkrementposition auf 1 gesetzt worden ist.

5.4 Diskussion

Die Ergebnisse zeigen keinen systematischen Vorteil für bestimmte Inkrementpositionen unabhängig von der Dauer der Reizsegmente. Dennoch ist die Tendenz zu erkennen, dass Inkremente am Ende eines Reizes leichter zu erkennen sind. Darauf verweist der signifikante positive lineare Trend bei beiden Segmentdauern (20 ms und 100 ms). Das heißt auch, befindet sich eine Intensitätsspitze am Anfang eines Reizes, so ist sie für die meisten Versuchspersonen schwieriger zu erkennen als auf späteren Komponenten. Bei den "kurzen" Reizen (Segmentdauer 20 ms) zeigt nur eine Versuchsperson (TP) einen Primacy-Effekt, für die meisten Versuchspersonen zeigt sich ein Trend zum Recency-Effekt. Bei den "langen" Reizen (Segmentdauer 100 ms) zeigt sich bei zumindest zwei Versuchspersonen (PE und AT) eine Tendenz zum Primacy-Effekt und bei mindestens drei Versuchspersonen (NA, AT und PE) ein deutlicher Recency-Effekt mit höchsten Werten für d' bei Inkrementen auf der letzten Position. Dies könnte andeuten, dass sich auch bei Lautheitsprofilen die Tendenz zum Primacy-Effekt vergrößert, wenn die Dauer der Einzelsegmente ansteigt, und würde somit zu den Ergebnissen von McFarland & Cacace (1992), sowie von Watson et al. (1975) und Lutfi (1992) passen. Denn McFarland & Cacace (1992) fanden bei Tonmustern mit Einzelsegmenten von 200 ms Dauer deutliche Primacy- und Recency-Effekte, Watson et al. (1975) und Lutfi (1992) bei Tonmustern mit Einzelsegmenten von 30 bzw. 40 ms nur noch einen Recency-Effekt. Auch Coble & Robinson (1992) fanden einen Recency-Effekt bei der Entdeckung von "frozen noise"-Komponenten in "random noise"-Intervallen. Komponenten am Ende eines Reizes wurden wesentlich besser entdeckt als Komponenten am Beginn oder in der Mitte eines Reizes. Ebenso könnte die Dauer des Inter-Stimulus-Intervalls (ISI) hier eine Rolle spielen. So fand Surprenant (2001) für Tonmuster mit Einzelsegmenten von 250 ms und einem ISI von 500 ms einen deutlichen Recency-Effekt, aber keinen Primacy-Effekt. Erhöhte sie die Dauer des ISI auf 2000 ms, so trat nun tendenziell auch ein Primacy-Effekt auf. Ein solcher Einfluss des Inter-Stimulus-Intervalls wird von "Distinctiveness"-Modellen vorhergesagt und damit erklärt, dass die "Deutlichkeit" (distinctiveness) einer Endkomponente mit zunehmendem ISI relativ zu den übrigen Reizkomponenten sinkt, während die Anfangskomponente an Salienz gewinnt (Surprenant, 2001). Da im vorliegenden Experiment das Inter-Stimulus-Intervall nicht variiert wurde, sondern

konstant bei 1000 ms lag, lässt sich über dessen Einfluss hier keine Aussage machen. Dies wäre aber eine interessante Fragestellung für weiterführende Untersuchungen.

Die insgesamt relativ niedrigen d' -Werte und Prozent-korrekt-Werte deuten darauf hin, dass die in Experiment 4 gestellte Aufgabe für die Versuchspersonen doch recht schwierig war. Die Diskriminationsleistungen liegen im Durchschnitt unter denen von Experiment 2, wo die Intensitätsspitze nur in einer zeitlichen Position auftrat (vgl. Tabelle 3.2 auf Seite 89). Das heißt, sich von Block zu Block auf eine andere Inkrementposition einstellen zu müssen, ist insgesamt gesehen nicht einfach und gelingt auch nicht allen Versuchspersonen gleichermaßen gut. Die resultierenden Gewichtsfunktionen spiegeln diese Schwierigkeit wider (siehe Abbildungen 5.3 und 5.4). Es gelingt zwar den meisten Hörern in jeder Bedingung ein hohes positives Gewicht auf die jeweilige Inkrementposition zu setzen, die Gewichtung der Kontextkomponenten, die im Idealfall nahe 0 sein sollte, ist jedoch bei weitem nicht so einheitlich wie bei den Gewichtsfunktionen in Experiment 2 (siehe Abbildung 3.6 auf Seite 98). Es ist hierbei jedoch zu berücksichtigen, dass im vorliegenden Experiment 4 nur jeweils 300 Beobachtungen für die Schätzung jeder Gewichtsfunktion in jeder einzelnen Bedingung und Inkrementposition vorlagen. Auch darauf sind vermutlich die unregelmäßigen Gewichtsfunktionen zurückzuführen. Dennoch ist eine gewisse Stabilisierung des Gewichtsmusters zu beobachten, je weiter die Position des Inkrements zeitlich nach hinten rückt, was im Einklang mit den besseren Diskriminationsleistungen für spätere Inkrementpositionen steht. Es ist aber zu vermuten, dass ein veränderter Versuchsplan mit weniger häufigen Wechseln in der Inkrementposition und Segmentdauer sowie der Erhebung einer größeren Menge von Daten für jede Inkrementposition zu eindeutigeren Gewichtsmustern führen würde.

Die Ergebnisse sprechen für die These, dass auf dem Weg zur Bildung einer Reizrepräsentation die frühe Information im Reiz am fragilsten ist und Gefahr läuft, von später eintreffender akustischer Information “überschrieben“ zu werden (z.B. Näätänen & Winkler, 1999). Denn besonders, wenn ein Inkrement in den ersten etwa 100 ms eines Reizes auftritt, haben Versuchspersonen Schwierigkeiten, es zu entdecken. Das zeigt sich sowohl in den geringen d' -Werten für die Positionen 1 bis 3 bei den “kurzen“ Reizen, wie auch in den zugehörigen Gewichtsfunktionen. Betrachtet man

hier jeweils die über die Einzelprobanden gemittelten Gewichte (Abb. 5.3), so bildet sich hier erst etwa ab Inkrementposition 4 bis 5 eine deutliche Spitze dort aus, wo das Inkrement tatsächlich sitzt, relativ zu den übrigen Segmenten gesehen. D.h., innerhalb eines Zeitbereichs von bis zu ca. 60-80 ms vom Beginn des Reizes ab gemessen ist es schwieriger, die Pegelinformation einzelner Komponenten selektiv zu verwerten.

Nun wird nicht nur die zeitliche Position des Inkrements allein seine Entdeckbarkeit beeinflussen, sondern auch die Gesamtreizdauer bzw. die Gesamtzahl der Reizkomponenten eine Rolle spielen. Dieser Frage wendet sich das folgende Experiment zu.

Kapitel 6

Experiment 5

6.1 Der Einfluss der Segmentanzahl auf die Unterscheidbarkeit von Lautheitsprofilen

Die vorhergehenden Experimente (insbesondere 3 und 4) haben gezeigt, dass nicht alle denkbaren Muster im Pegelverlauf zu gleich guten Ergebnissen bei der Unterscheidung von Lautheitsprofilen führen. Insbesondere Pegelspitzen zu Beginn eines Reizes sind schwierig zu entdecken.

Nun wurde in Experiment 4 die Gesamtreizdauer in zwei Bedingungen (200 ms und 1000 ms) konstant gehalten, während nur die Inkrementposition variiert wurde. Auch war insbesondere die *Anzahl* der zu analysierenden Reizsegmente in jedem hier vorgestellten Experiment konstant. Die Reize waren immer aus zehn Zeitsegmenten zusammengesetzt.

Viele Untersuchungen sprechen jedoch dafür, dass die Anzahl und Dauer dargebotener Reizkomponenten einen entscheidenden Einfluss auf die Unterscheidbarkeit von komplexen auditiven Reizen hat. Dies zeigen zum einen Experimente mit tonalen Sequenzen, zum anderen Experimente zu spektralen Profilen.

6.1.1 Der Einfluss der relativen Dauer von Reizkomponenten auf die Unterscheidung von Tonsequenzen

Watson et al. (1990) haben gezeigt, dass Unterschiedsschwellen für die Entdeckung von Veränderungen in komplexen Tonmustern mit zunehmender Komponentenanzahl ansteigen, und zwar weitgehend unabhängig von der Gesamtdauer der Reize. Dieses Ergebnis führen die Autoren auf zunehmendes “informational masking“ zurück, da gerade mit steigender Anzahl von Kontexttönen auch die in den Tonmustern enthaltene und für die Aufgabe “irrelevante“ Information ansteigt.

In den Experimenten von Watson et al. (1990) war jedoch die Dauer des Zieltons stets gleich der Gesamtreizdauer geteilt durch die Komponentenanzahl - und damit konfundiert mit dem Anteil, den die Dauer des Zieltons an der Gesamtreizdauer hatte. Daher untersuchten Kidd & Watson (1992) systematisch den Einfluss des *Verhältnisses* zwischen Zieltondauer und Gesamtreizdauer (“proportion of the total duration“; PTD) auf die Unterscheidbarkeit von Tonmustern. Hierfür wurde die Dauer der Zielkomponente im Verhältnis zur Gesamtreizdauer systematisch variiert (PTD = 0.1, 0.2 oder 0.4), wie auch die Komponentenanzahl ($n = 3, 5$ oder 9). Gesamtreizdauern waren 100 ms, 500 ms oder 1500 ms. Dies resultierte in 27 Experimentalbedingungen. Der Zielton befand sich immer in der zeitlichen Mitte der Tonsequenz. In einer “Gleich-Verschieden-Aufgabe“ sollten Versuchspersonen Frequenzänderungen im Zielton entdecken. Anhand der Daten wurden Frequenz-Unterschiedsschwellen gemessen. Es resultierte hier kein Effekt der Segmentanzahl mehr. Vielmehr zeigte sich, dass die Unterschiedsschwellen weitgehend abhängig waren vom Anteil der Zieltondauer an der Gesamtdauer eines Reizes. Kidd & Watson (1992) formulierten aufgrund dieser Ergebnisse die “Proportion-of-the-total-duration“-Regel (PTD-Regel): “Each individual component of an unfamiliar sequence of tones is resolved with an accuracy that is a function of its proportion of the total duration of the sequence.“ (Kidd & Watson, 1992, S. 3116).

Die PTD-Regel wurde in einigen Studien bestätigt. So untersuchte Surprenant (2001) die Unterscheidbarkeit von Fünftonsequenzen in einer “Gleich-Verschieden-Aufgabe“ mit festen Frequenzdifferenzen im Zielton, die zu entdecken waren, und untrainierten Versuchspersonen. Variiert wurden der Anteil der Zieltondauer an der Gesamtreizdauer (PTD = 0.11, 0.20 oder 0.33) und die Gesamtreizdauer (in 5 Bedingungen zwischen

750 und 2250 ms). Der Zielton befand sich immer in der zeitlichen Mitte der Reize. Surprenant maß d' -Werte in Abhängigkeit des Anteils der Zieltondauer und konnte die PTD-Regel bestätigen: Die d' -Werte sanken mit abnehmender PTD, unabhängig von der Gesamtreizdauer. Coble & Robinson (1992) hatten gezeigt, dass auch die Entdeckbarkeit von "frozen noise" in einer Sequenz von "random noise" vom Anteil der Zielkomponentendauer an der Gesamtreizdauer abhängt und somit ebenfalls der PTD-Regel folgt.

6.1.2 Der Einfluss der Komponentenanzahl auf die Unterscheidung von spektralen Profilen

Beim experimentellen Paradigma der Unterscheidung von spektralen Profilen sollen Versuchspersonen erkennen, ob sich eine spektrale Komponente in einem Multiton-Komplex in ihrer Intensität von den Kontextkomponenten unterscheidet. Die Reizkomponenten werden in der spektralen Profilanalyse ("profile analysis"; Green, 1988) *simultan* dargeboten. Experimente in diesem Paradigma zeigen, dass die Unterschiedsschwellen sinken, wenn mehr Nicht-Signalkomponenten hinzugenommen werden (Green, 1988; Green, 1992; Kidd et. al. 1991; Ellermeier, 1996). Dies wird dadurch erklärt, dass Probanden Mehrkanal-Vergleiche zwischen der spektralen Komponente mit dem Inkrement und flankierenden Komponenten durchführen. Mit zunehmender Komponentenanzahl erhöht sich damit auch die Zahl der Vergleichsmöglichkeiten und somit die Möglichkeit, die Signalkomponente gegenüber den Nicht-Signalkomponenten zu "messen". Dadurch wird die Entdeckung eines Inkrements erleichtert, wodurch die Schwelle sinkt. Dieses Phänomen ist jedoch nicht unabhängig vom Verhältnis der Frequenzen von Zielkomponente zu Kontextkomponenten. So sinkt die Schwelle beim Hinzufügen von Nicht-Signalkomponenten, die sich in ihrer Frequenz stark von der der Zielkomponente unterscheiden. Wird jedoch mehr akustische Energie in einem Frequenzbereich nahe dem der Zielkomponente hinzugefügt, so treten Maskierungseffekte auf und die Schwelle zur Entdeckung der Signalkomponente steigt an (z.B. Green, 1988; Kidd et al., 1991).

6.1.3 Fragestellung in Experiment 5

Experiment 5 will sich nun der Frage zuwenden, wie die Anzahl der Reizkomponenten die Entdeckbarkeit eines Inkrementes in *zeitlichen Lautheitsprofilen* beeinflusst. Hierzu werden Unterschiedsschwellen für eine Intensitätsspitze in der zeitlichen Mitte eines fluktuierenden Pegelverlaufs gemessen, während die Anzahl zeitlicher Segmente variiert wird.

In Analogie zu den beschriebenen Ergebnissen aus Untersuchungen mit Tonsequenzen bzw. spektralen Profilen ergeben sich folgende Hypothesen:

1. Folgt die Verarbeitung zeitlicher Lautheitsprofile dem gleichen Prinzip wie die Entdeckung von Frequenzunterschieden in Tonsequenzen, so ist zu erwarten, dass Unterschiedsschwellen für die Entdeckung einer Intensitätsspitze hier ebenfalls mit zunehmendem *Anteil der Zielkomponentendauer an der Gesamtreizdauer* sinken.
2. Profitieren Versuchspersonen, wie bei spektralen Profilen, von der zunehmenden Anzahl von Vergleichsmöglichkeiten zwischen Zielkomponente und Kontextkomponenten bei steigender Segmentanzahl, so ist zu erwarten, dass die Unterschiedsschwellen mit *zunehmender Segmentanzahl* sinken.

6.2 Methode

6.2.1 Versuchspersonen

An Experiment 5 nahmen sechs Versuchspersonen teil. Sie waren zwischen 20 und 32 Jahren alt, mit einem Durchschnittsalter von 24,67 Jahren und einem Median von 24 Jahren. Alle Teilnehmer waren weiblich. Fünf Versuchspersonen waren Psychologie-Studentinnen der Universität Regensburg im Grundstudium. Sie wurden für ihre Teilnahme mit der Gutschrift von Versuchspersonenstunden gemäß der Prüfungsordnung entlohnt. Eine Teilnehmerin war die Versuchsleiterin. Alle Versuchspersonen waren Normalhörer. Ein Hörtest mittels Screening-Audiometer (MADSEN ELECTRONICS MICROMATE 304D) ergab für alle Teilnehmer Hörschwellen von 20 dB HL oder besser für reine Töne von 250 bis 8000 Hz. Mit Ausnahme der Versuchsleiterin (TP) hatten auch hier alle Versuchspersonen keine Vorerfahrungen mit dieser Art von psychoakustischen Experimenten.

6.2.2 Versuchsanordnung

6.2.2.1 Apparatur

Die Erzeugung der Reize für Experiment 5 entsprach wiederum der für Experiment 2. Als Reizmaterial diente Weißes Rauschen, das im Pegel fluktuierte.

6.2.2.2 Reizmaterial

In Experiment 5 waren die Reize wie in den Experimenten zuvor aus zeitlichen Segmenten zusammengesetzt, die im Pegel fluktuierten, jedoch war hier die Segmentanzahl nicht konstant. Sie variierte in fünf Bedingungen mit 3, 5, 7, 9 und 11 Zeitsegmenten. Die Pegel der Segmente wurden unabhängig voneinander aus einer Normalverteilung mit einem Mittelwert von $\mu = 55$ dB SPL und einer Standardabweichung von $\sigma = 2$ dB gezogen. Die Segmente waren ohne Unterbrechung aneinander gereiht. Das jeweils erste Zeitsegment war mit einer aufsteigenden Rampe von 2 ms versehen. Die Reize wurden wie in den vorhergehenden Experimenten in “Signal“ und “Noise“ unterschieden, wobei der “Signal“-Reiz durch eine zusätzliche Intensitätsspitze auf dem jeweils mittleren Zeitsegment gekennzeichnet war, die beim “Noise“-Reiz fehl-

te. Die Höhe des Inkrements wurde durch ein adaptives Verfahren vorgegeben. Auch hier wurde wieder ein “roving level“ verwendet, der den Gesamtpegel der Reize um ± 10 dB zufällig verschob. Bei der Segmentdauer wurden auch hier zwei Bedingungen unterschieden, die analog zu den Experimenten 2 und 4 gewählt wurden. D. h., in Bedingung 1 betrug die Segmentdauer 100 ms, so dass die Gesamtdauer der Reize, entsprechend der Anzahl der Segmente, zwischen 300 ms (bei 3 Segmenten) und 1100 ms (bei 11 Segmenten) variierte. In Bedingung 2 betrug die Segmentdauer 20 ms, was zu Gesamtdauern zwischen 60 ms (3 Segmente) und 220 ms (11 Segmente) führte. Der Anteil der Zielkomponentendauer an der Gesamtreizdauer (PTD) variierte daher in beiden Bedingungen mit der Segmentanzahl (PTD = 0.33, 0.2, 0.14, 0.11, 0.09). Abbildung 6.1 gibt die Reizsituationen in den verschiedenen Bedingungen schematisch wieder.

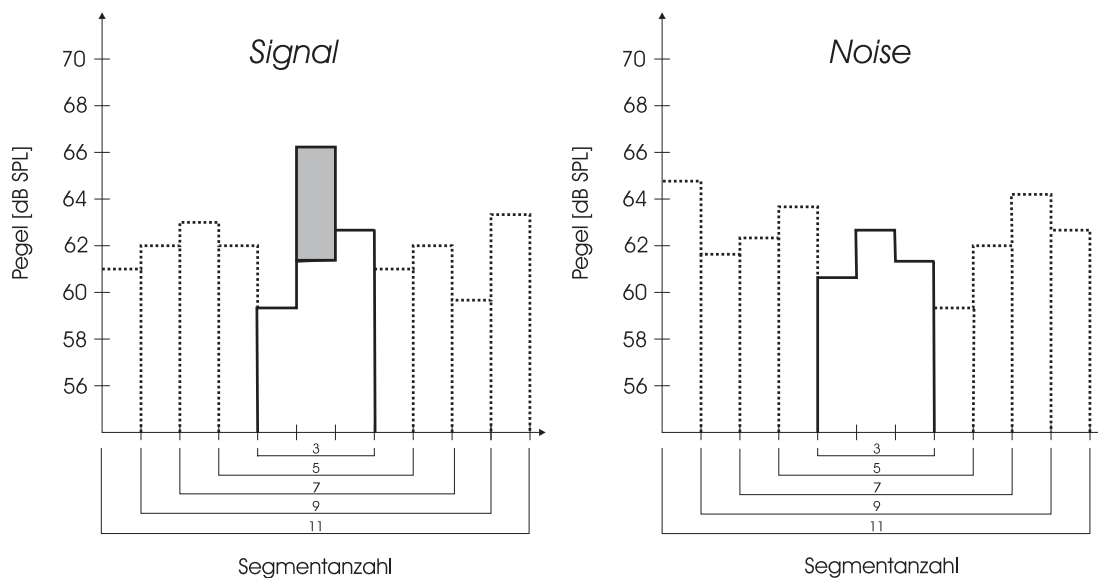


Abbildung 6.1: Schematische Darstellung der Reize in Experiment 5. Die Pegel der Zeitsegmente von Weißem Rauschen werden unabhängig voneinander aus einer Zufallsverteilung (NV: $\mu=55$ dB, $\sigma=2$ dB) gezogen. Die Reize wurden als “Signal“ und “Noise“ bezeichnet. Beim “Signal“-Reiz befand sich eine Intensitätsspitze auf dem jeweils mittleren Zeitsegment. Die “Klammern“ zeigen an, dass die Anzahl der Segmente zwischen 3 und 11 variierte.

6.2.3 Versuchsaufbau

6.2.3.1 Struktur eines Durchgangs

Wie auch schon für Experiment 2 und 4, wurde auch hier ein Two-Interval-Forced-Choice-Verfahren (2IFC) gewählt. Ein Durchgang entsprach in seinem Aufbau denen in den Experimenten 2 und 4, genauso wie die Aufgabe der Versuchsperson. Auch die Abgabe der Antwort wie auch das Feedback waren genau wie in den Experimenten 2 und 4 geregelt. Allerdings wurde die Größe des Inkrements diesmal adaptiv eingeregelt.

6.2.3.2 Versuchsplan

Auch in Experiment 5 wurde in der ersten Sitzung mit den Probanden der Hörtest durchgeführt, und ihnen einige erste Übungsblöcke präsentiert, die die Teilnehmer mit der Aufgabe vertraut machen sollten. Diese Übungsblöcke gingen wieder nicht in die Ergebnisse mit ein. Die Instruktion erfolgte wieder schriftlich (siehe Anhang A2, S. 225), mit der Möglichkeit für die Probanden, Fragen zum Experiment zu stellen. Wenn sie angaben, dass ihnen die Aufgabenstellung klar war, absolvierte jede Versuchsperson danach sechs Übungsblöcke, drei in Bedingung 1 (Segmentdauer 100 ms) und drei in Bedingung 2 (Segmentdauer 20 ms). Ob zuerst die Übungsblöcke mit der "Segmentdauer 100 ms" oder der "Segmentdauer 20 ms" absolviert wurden, wurde zufällig entschieden. In jeder der beiden Bedingungen wurden zufällig drei der fünf möglichen Segmentanzahlen ausgewählt - nach dem "Modell ohne Zurücklegen" (MoZ) -, und die Probanden absolvierten mit diesen drei Segmentanzahlen ganz normale adaptive Blöcke als Übungsblöcke, in der gleichen Weise, wie sie für die eigentliche Datenerhebung verwendet wurden, mit einem Anfangsinkrement von 10 dB, das sich schrittweise verkleinerte. Die Anzahl von Durchgängen in jedem Übungsblock lag im Schnitt bei 50.

Während der eigentlichen Datenerhebung absolvierte jede Versuchsperson in jeder der beiden Bedingungen ("Segmentdauer 100 ms" und "Segmentdauer 20 ms") und in jeder der fünf Segmentanzahlen (3, 5, 7, 9 und 11) jeweils 12 adaptive Blöcke.

Adaptives Verfahren Für das adaptive Verfahren wurde eine "Two-down, one-up"-Prozedur gewählt, die es erlaubt, die 70,1 %-korrekt-Schwelle für das Entdecken

des Inkrementes zu bestimmen (Levitt, 1971). Jeder adaptive Block startete mit einer Intensitätsspitze von 10 dB und einer Anfangsschrittgröße von 1 dB. Nach zwei aufeinander folgenden richtigen Antworten wurde die Intensitätsspitze um 1 dB verringert, nach jeder falschen Antwort um 1 dB heraufgesetzt. Nach vier Umkehrpunkten wurde die Schrittgröße auf 0,4 dB verkleinert. Der Startwert und die Schrittgrößen wurden so gewählt, dass es aufgrund der anspruchsvollen Aufgabe sehr unwahrscheinlich war, dass der Pegel des Inkrements einen Wert annahm, der kleiner als die Pegel der Kontextkomponenten war. Tatsächlich passierte es über alle Versuchspersonen und Durchgänge hinweg nur zweimal, dass der Pegel des Inkrements unter den Standard sank. In diesen Fällen wurde der Block abgebrochen und neu gestartet. Ein Block endete nach 12 Umkehrpunkten. Die erhaltene Schwelle für jeden Block wurde berechnet als der Mittelwert des Pegels der Intensitätsspitze aus den letzten 8 Umkehrungen.

Jede Versuchsperson absolvierte 12 solche adaptive Blöcke in jeder der beiden Bedingungen ("Segmentdauer 100 und 20 ms") und in jeder der fünf Segmentanzahlen (3, 5, 7, 9 und 11). Innerhalb einer Sitzung wechselte die Bedingung ("Segmentdauer 100 und 20 ms") nicht. Die Reihenfolge, in der Sitzungen mit langer und kurzer Segmentdauer aufeinander folgten, wurde vollständig ausbalanciert nach folgendem Muster:

1. ABBA ABBA ABBA
2. BAAB BAAB BAAB
3. ABBA BAAB ABBA
4. BAAB ABBA BAAB
5. ABBA BAAB BAAB
6. BAAB ABBA ABBA

Hierbei steht "A" für Sitzungen mit "Segmentdauer 100 ms" (Bedingung 1) und "B" für Sitzungen mit "Segmentdauer 20 ms" (Bedingung 2). Die Zuweisung der sechs Reihenfolgen zu jeder der Versuchspersonen erfolgte zufällig.

Innerhalb jeder Sitzung wurden die adaptiven Blöcke mit jeder Segmentanzahl zweimal präsentiert. Damit wurden in jeder Sitzung insgesamt 10 adaptive Blöcke absolviert. Die Reihenfolge, in der das geschah, wurde wieder zufällig bestimmt.

Ein adaptiver Block dauerte ca. 3 bis 5 Minuten, eine Sitzung in etwa 45 Minuten. Nach der Hälfte der Durchgänge erfolgte in der Regel eine kurze Pause.

Nachdem die Datenerhebung so in 12 Sitzungen (6 mit “langer“ Segmentdauer, 6 mit “kurzer“ Segmentdauer) abgeschlossen war, lagen für jede Versuchsperson für jede Bedingung und Segmentanzahl jeweils 12 Unterschiedsschwellen für das Inkrement vor. Um die “endgültige“ Schätzung für die Schwelle für jede Unterbedingung zu erhalten, wurde der Mittelwert (arithmetisches Mittel) aus diesen 12 Schwellen gebildet. Tabelle 6.1 gibt einen Überblick über den Versuchsplan des Experiments 5.

Tabelle 6.1: Überblick über den Versuchsplan für Experiment 5. Das Experiment war nach 13 Sitzungen abgeschlossen. Ab der zweiten Sitzung begann die Datenerhebung für das eigentliche Experiment mit jeweils 10 Experimentalblöcken (Exp.B) pro Sitzung. Übungsblöcke (ÜB) wurden in der ersten Sitzung absolviert.

Sitzung 1	<i>Art des Blocks</i>	<i>Segmentdauer</i>	<i>Segmentanzahl</i>
	ÜB 1	100 ms	zufällig
	ÜB 2	100 ms	zufällig
Sitzung 1	ÜB 3	100 ms	zufällig
	ÜB 1	20 ms	zufällig
	ÜB 2	20 ms	zufällig
Sitzung 2 bis 13	ÜB 3	20 ms	zufällig
	<i>Art des Blocks</i>	<i>Segmentdauer</i>	<i>Segmentanzahl</i>
	Exp.B. 1 bis 5	100 od. 20 ms	zufällig
	Exp.B. 6 bis 10	100 od. 20 ms	zufällig

6.3 Ergebnisse

6.3.1 Unterschiedsschwellen für das Inkrement in Lautheitsprofilen mit variierender Segmentanzahl

Die Tabelle 6.2 zeigt die mittleren Unterschiedsschwellen in dB für jede Versuchsperson und Bedingung (Segmentdauer 100 ms und 20 ms):

Tabelle 6.2: Unterschiedsschwellen in dB für alle sechs Versuchspersonen und jede Segmentanzahl in beiden Bedingungen

<i>V_p</i>	Unterschiedsschwellen in dB für Bedingung 1 (Segmentdauer 100 ms)				
	<i>3 Segmente</i>	<i>5 Segmente</i>	<i>7 Segmente</i>	<i>9 Segmente</i>	<i>11 Segmente</i>
BA	4,12	4,51	4,58	4,69	4,78
EV	4,96	4,11	4,97	5,53	5,65
IN	4,95	4,86	5,08	5,69	6,06
RE	4,43	5,1	5,4	5,8	6,58
TA	3,73	3,97	4,49	4,48	4,53
TP	4,39	4,44	4,98	4,82	4,61

<i>V_p</i>	Unterschiedsschwellen in dB für Bedingung 2 (Segmentdauer 20 ms)				
	<i>3 Segmente</i>	<i>5 Segmente</i>	<i>7 Segmente</i>	<i>9 Segmente</i>	<i>11 Segmente</i>
BA	5,95	5,11	5,19	5,42	5,63
EV	6,3	6,27	5,88	5,88	5,83
IN	5,68	4,98	5,76	5,28	5,62
RE	6,88	5,07	6,63	6,63	5,74
TA	5,98	5,3	5,08	5,33	6,11
TP	6,23	5,76	5,62	5,03	6,26

Abbildung 6.2 zeigt die mittleren Unterschiedsschwellen für alle sechs Versuchspersonen als Funktion der Segmentanzahl, links für “Segmentdauer 20 ms” und rechts für “Segmentdauer 100 ms”.

Für beide Bedingungen (lange und kurze Segmentdauer) wurde eine Varianzanalyse

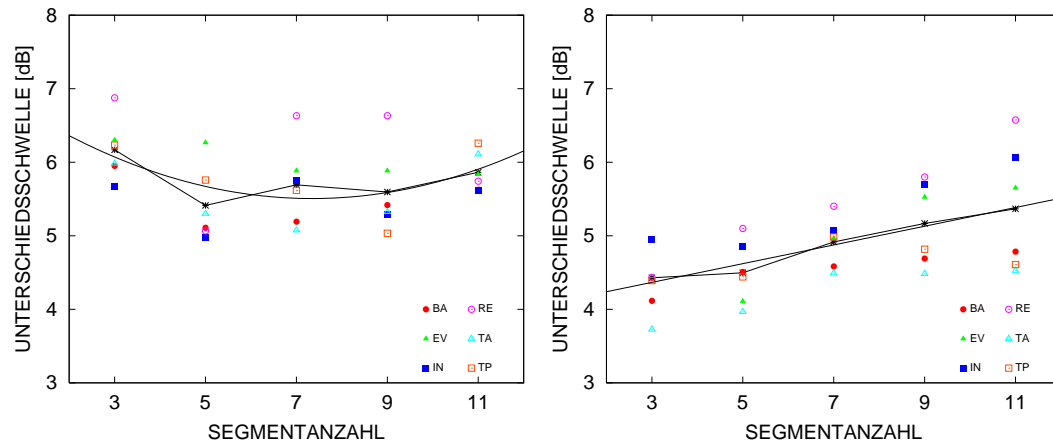


Abbildung 6.2: Mittlere Unterschiedsschwellen für alle sechs Versuchspersonen als Funktion der Segmentanzahl, links für die “kurzen” Reize (Segmentdauer 20 ms) und “rechts” für die langen Reize (Segmentdauer 100 ms). Jede Graphik zeigt den jeweiligen signifikanten Trend (durchgezogene Linie). Die verbundenen Sterne zeigen das jeweilige arithmetische Mittel über die sechs Versuchspersonen.

für verbundene Stichproben durchgeführt.

Im Fall der langen Segmentdauer (100 ms) ergab die Varianzanalyse, dass der Faktor “Segmentanzahl” signifikant wurde; $F(2.07, 20) = 9.316, p = 0.005$, Greenhouse-Geisser-korrigiert wegen Inhomogenität der Varianzen. Weitergehende Analysen zeigten einen signifikanten linearen Trend (lineare Funktion in Abbildung 6.2, rechts). Die Unterschiedsschwellen wurden also mit zunehmender Segmentanzahl größer; $F(1, 5) = 18.476, p = 0.008$.

Für die kurze Segmentdauer (20 ms) ergab die Varianzanalyse ebenfalls Signifikanz für den Faktor “Segmentanzahl”; $F(4, 20) = 2.993, p = 0.044$. Hier wird ein quadratischer Trend signifikant (quadratische Funktion in Abbildung 6.2, links). Er zeigt, dass die Schwellen mit zunehmender Segmentanzahl erst sinken und dann wieder steigen; $F(1, 5) = 8.867, p = 0.031$.

Bei Post-hoc-Tests mit Bonferroni-Anpassung für Mehrfachvergleiche ergab sich nur in einem Fall ein signifikanter Unterschied im direkten Vergleich zwischen zwei Bedingungen: bei den “langen” Reizen mit Segmentdauer 100 ms (Abbildung 6.2, rechts) zeigte sich ein signifikanter Unterschied in den Schwellen zwischen Segmentanzahl 3 und Segmentanzahl 9 (mittlere Differenz $-0.739, p = 0.028$).

6.3.2 Gewichtsschätzung mittels logistischer Regression

Zur Schätzung von Gewichten, die den Beitrag jedes Zeitsegments zum Urteil einer Versuchsperson messen, wurde wie in den vorangehenden Experimenten eine logistische Regression durchgeführt. Da in Experiment 5 ein adaptives Verfahren verwendet wurde, das die Höhe des Inkrements in jedem Durchgang aufgrund der Versuchspersonenantworten neu festlegte, ließe sich die Gewichtsschätzung mittels der COSS-Analyse hier nicht durchführen. Denn für dieses Verfahren wäre ein *fester* Pegelzuwachs auf der Zielkomponente notwendig, da sich sonst die erforderliche Klassenzuordnung der Pegeldifferenzen zwischen erstem und zweitem Beobachtungsintervall nicht ohne weiteres vornehmen lässt. Im Modell der logistischen Regression spielt eine solche Einteilung der Pegeldifferenzen jedoch keine Rolle, wodurch sie sich ohne Einschränkung zur Schätzung der Gewichte verwenden lässt. Es findet entsprechend für jede einzelne Versuchsperson das Modell aus Experiment 2 Anwendung.

Die Abbildung 6.3 zeigt die Gewichtsfunktionen in allen Bedingungen mit den mittleren Gewichten über alle sechs Probanden (durchgezogene Linie). Jede gestrichelte Linie gibt die Gewichtsfunktion einer einzelnen Versuchsperson in der jeweiligen Bedingung wieder.

Es zeigt sich, dass sich die Gewichtsmuster der einzelnen Probanden sehr ähnlich sind. Es resultieren hohe positive Gewichte jeweils auf der Position, die die Intensitätsspitze enthielt. Die Gewichtsfunktionen reflektieren sehr gut die dargebotenen zeitlichen "Profile". Mit zunehmender Segmentanzahl werden jedoch auch die Gewichtsverläufe an den Rändern der Reize unregelmäßiger. Es deuten sich zunehmend "Primacy"- und "Recency"-Effekte an. Diese könnten die effiziente Entdeckung des Inkrements erschweren und die ansteigenden Schwellen mit zunehmender Gesamtdauer der Reize erklären.

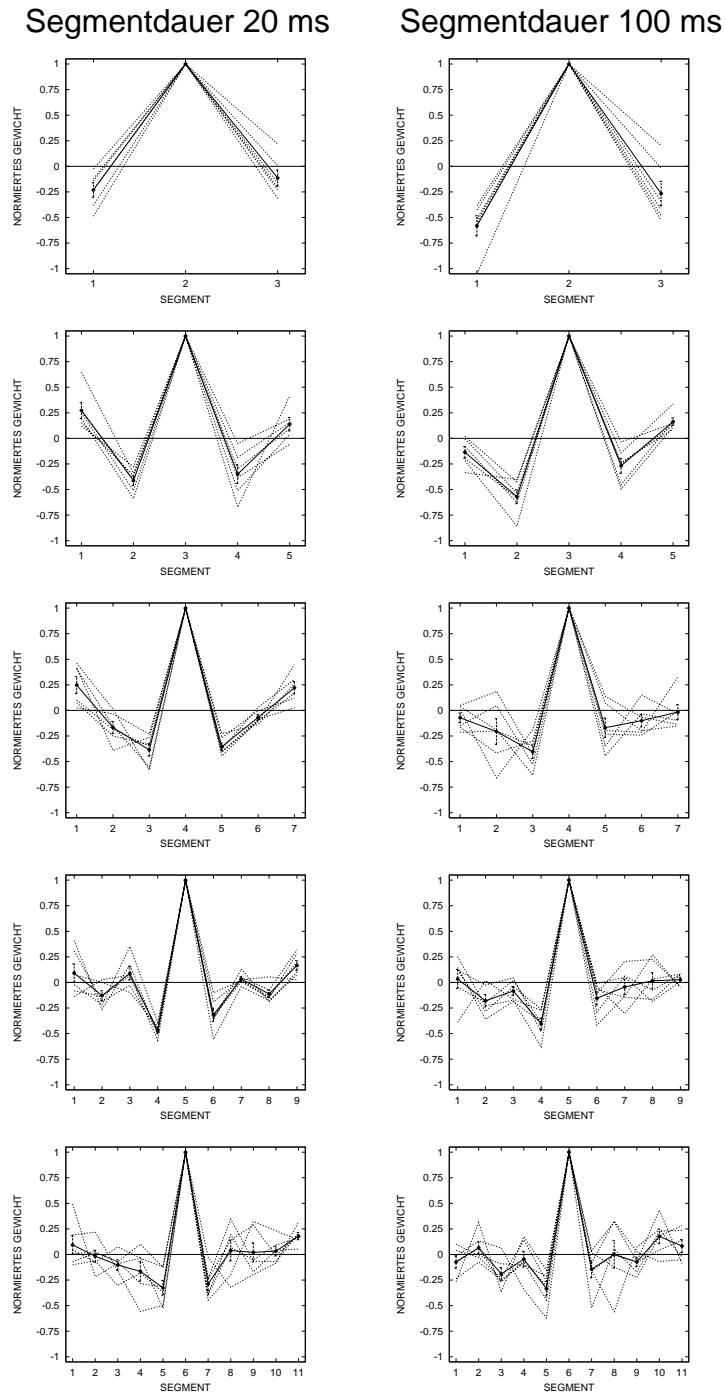


Abbildung 6.3: Gewichte aus logistischer Regression für Experiment 5. Die mittleren Gewichte über alle sechs Probanden sind in jeder Bedingung durch die durchgezogene Linie dargestellt. Jede gestrichelte Linie gibt die Gewichtsfunktion einer einzelnen Versuchsperson in der jeweiligen Bedingung wieder. In der linken Spalte befinden sich die Ergebnisse für die “kurzen” Reize (Segmentdauer 20 ms), in der rechten Spalte die Ergebnisse für die “langen” Reize (Segmentdauer 100 ms). Die Segmentanzahl (3, 5, 7, 9, 11) nimmt von oben nach unten zu.

6.4 Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass die *Zahl* und die *Dauer* der Zeitsegmente in Lautheitsprofilen die Unterschiedsschwelle eines zu entdeckenden Inkrements beeinflussen. Ein “Saum“ von mehr als 100 ms vor und nach dem Inkrement erschwert eher dessen Entdeckung. Hörer profitieren am meisten von zusätzlichen Komponenten, wenn diese relativ kurz sind (20 ms). Bei den kurzen Segmentdauern haben drei Versuchspersonen ihre niedrigste Schwelle bei 5 Komponenten (BA, IN, RE), eine Versuchsperson bei 7 Komponenten (TA), eine bei 9 Komponenten (TP) und eine bei 11 Komponenten (EV). Für EV sind die Schwellen für 7, 9 und 11 Komponenten jedoch kaum zu unterscheiden. Damit können Versuchspersonen zunächst von zusätzlichen Komponenten profitieren, während mit zunehmender Komponentenanzahl die Entdeckbarkeit des Inkrements wieder abnimmt. Bei den “langen“ Reizen (Segmentdauer 100 ms) hatten dagegen vier Versuchspersonen ihre niedrigste Schwelle bei 3 Komponenten (BA, RE, TA, TP) und zwei Versuchspersonen bei 5 Komponenten (EV, IN). Somit wird die Entdeckung bei “langen“ Reizen mit zunehmender Gesamtdauer zunehmend schwieriger.

Die “Proportion-of-the-Total-Duration“-Regel, die Kidd & Watson (1992) für Tonmuster postulierten, kann das Ergebnis bei den “langen“ Reizen (Segmentdauer 100 ms) erklären, nicht aber das bei den “kurzen“ Reizen (Segmentdauer 20 ms). Bei den “langen“ Reizen steigt die Schwelle mit zunehmender Komponentenanzahl und damit abnehmendem Anteil der Signalkomponentendauer an der Gesamtreizdauer kontinuierlich an - genau wie es die PTD-Regel vorhersagen würde. Bei den “kurzen“ Reizen verbessert sich jedoch die Schwelle mit zunehmender Segmentanzahl bis zu etwa 7 Komponenten, danach steigt sie ebenfalls tendenziell an. D.h., bis zu einer Gesamtreizdauer von etwa 140 ms und schnellen Pegeländerungen im 20-ms-Takt scheinen Hörer von zusätzlichen Nicht-Signalkomponenten zu profitieren. Dies könnte darauf hindeuten, dass in diesem frühen Zeitbereich tatsächlich Pegelvergleiche innerhalb eines Beobachtungsintervalls vorgenommen werden, wie die Ergebnisse der spektralen Profilanalyse es vorhersagen.

Betrachtet man jedoch weitere Parameter der Unterscheidung von spektralen Profilen,

so scheinen sich zeitliche Lautheitsprofile im Vergleich dazu vollkommen anders zu verhalten. Bei spektralen Profilen sorgt zunehmende Anzahl von Segmenten üblicherweise für eine Verbesserung der Schwellen, bei den zeitlichen Profilen hängen die Schwellen von einer Interaktion zwischen Segmentanzahl und Komponentendauer ab. Bei den spektralen Profilen senkt eine größere spektrale Distanz zwischen Signalkomponente und Nicht-Signalkomponenten die Schwelle, bei den zeitlichen Profilen steigt die Schwelle mit zunehmender zeitlicher Distanz der hinzugefügten Nicht-Signalkomponenten zur Signalkomponente an. Bei potentiellen Maskierungseffekten verhält es sich genau umgekehrt: Nicht-Signalkomponenten bei spektralen Profilen in einer Frequenz, die nahe an der der Signalkomponente liegt, erhöhen die Schwellen. Dagegen senken bei zeitlichen Profilen Nicht-Signalkomponenten in näherer zeitlicher Nachbarschaft zur Signalkomponente die Schwelle.

Die Gewichtsfunktionen scheinen dieses Ergebnis gut zu reflektieren. Mit zunehmender Segmentanzahl und damit steigenden Unterschiedsschwellen werden auch die Gewichtsmuster zunehmend unregelmäßig, und es tauchen vermehrt positive Gewichte an den Rändern der Reize auf, die für die vorliegende Aufgabe nicht optimal sind. Dies bestätigt die Hypothese, dass zunehmende irrelevante Information in Form zusätzlicher Nicht-Signalkomponenten zu “informational masking“ führt.

Die Ergebnisse sind konsistent mit den Ergebnissen aus Experiment 4. In Experiment 4 waren Inkremente auf den Positionen 2 und 3 bei einer Segmentdauer von 20 ms am schwersten zu entdecken. Genau das gleiche zeigt sich in Experiment 5, wenn die Inkremente auf den Positionen 2 und 3 erscheinen. Hier sind die Unterschiedsschwellen bei einer Segmentdauer von 20 ms und einer Segmentanzahl von 3 bzw. 5 noch relativ hoch, obwohl nach dem Inkrement kein so langer “Saum“ an irrelevanter Information folgt wie in Experiment 4. Damit kann aber auch der größere Anteil irrelevanter Information in Form von “informational masking“, der in Experiment 4 auf frühe Inkrementpositionen folgte, die schlechten Diskriminationsleistungen für diese frühen Inkrementpositionen nicht allein erklären.

Kapitel 7

Allgemeine Diskussion

Ziel dieser Untersuchung war, mehr über die Mechanismen der Verarbeitung schneller Lautheitsänderungen im Bereich von Millisekunden zu erfahren. Dabei kann es erforderlich sein, Pegelinformation einzelner zeitlicher Komponenten eines Reizes über einen gewissen Zeitraum zu *integrieren*, sinnvoll zu Ereignissen zu *gruppieren* oder die Pegelinformation einzelner Komponenten *selektiv zu nutzen*, während irrelevante Information ausgeblendet werden muss. Die Fragestellung zielte dabei auf zwei Aspekte ab: Einmal die Frage, wie gut das auditive System in der Lage ist, schnelle Lautheitsveränderungen *wahrzunehmen* (*zeitliche Auflösungsfähigkeit*). Zum anderen die Frage, wie und wie effizient die wahrgenommene Information für bestimmte Aufgaben *genutzt* werden kann.

Um diese Aspekte zu untersuchen, wurde eine spezielle Analysemethode verwendet (COSS-Analyse; Berg, 1989), die es erlaubt, aus globalen Versuchspersonenurteilen die molekulare Struktur des Entscheidungsprozesses in Abhängigkeit der dargebotenen Reizstruktur zu extrahieren. D.h., aus den globalen Urteilen einer Versuchsperson können Gewichte geschätzt werden, die als Maß für den Beitrag einzelner Reizkomponenten zum Gesamturteil dienen können. Dies gelingt, indem die Antworten in Beziehung gesetzt werden zu den in jedem Durchgang dargebotenen Eigenschaften in einzelnen Zeitsegmenten eines Reizes. Dadurch kann überprüft werden, ob die von einer Versuchsperson verwendete Gewichtung einzelner Reizabschnitte auch effizient für die zugrundeliegende Aufgabe war. Es wurden verschiedene Varianten der Mustererkennung bei der Unterscheidung von Lautheitsprofilen implementiert,

um zu untersuchen, wie flexibel Versuchspersonen Gewichtungsstrategien neuen Anforderungen anpassen können. Durch die COSS-Methode wurde es auch erst möglich, Verarbeitungsprozesse bei der Unterscheidung von sehr kurzen Lautheitsmustern von weniger als einer Sekunde Dauer zu analysieren. Denn bei so kurzen Reizen und raschen Pegelfluktuationen ist es nicht mehr möglich, von Versuchspersonen “instantane” Lautheitseindrücke zu bestimmten Zeitpunkten eines Reizes abzufragen. Insgesamt fünf Experimente wandten sich verschiedenen Teilaspekten im Bereich der Wahrnehmung von Lautheitsprofilen zu.

7.1 Diskussion der Einzelergebnisse

In **Experiment 1** wurden Folgen von Breitbandrauschen dargeboten, deren Gesamtdauer variierte, während die akustische Energie konstant blieb: jeweils zehn Rauschimpulse von 20 ms Dauer waren durch Pausen von 5, 40 oder 100 ms getrennt. Versuchspersonen sollten in einer 2IFC-Aufgabe aus je zwei dargebotenen Pulsfolgen die insgesamt “lautere” auswählen. Hierzu musste also die Pegelinformation aus allen zehn Rauschimpulsen eines Reizes zu einem globalen Lautheitseindruck integriert werden. Mittels der COSS-Methode (Berg, 1989) und der logistischen Regression wurden aus den Versuchspersonenurteilen Gewichte geschätzt, die angaben, wie stark jeder einzelne Rauschimpuls in das Urteil einer Versuchsperson eingeht. Es interessierte insbesondere die Frage, wie die zeitliche Verteilung der Rauschimpulse deren Gewichtung bzw. die Nutzung der in den Rauschimpulsen vorhandenen Pegelinformation beeinflusst. Die abgeleiteten Gewichtsfunktionen zeigten, dass die zeitliche Verteilung der Rauschimpulse einen entscheidenden Einfluss darauf hat, wieviel jeder Rauschimpuls zum Lautheitseindruck einer Versuchsperson beiträgt. Waren die 20 ms kurzen Rauschimpulse durch Pausen von 100 oder 40 ms voneinander getrennt, so wurden Anfangskomponenten im Durchschnitt deutlich stärker berücksichtigt als mittlere Komponenten und Endkomponenten. Bei Pausen von 5 ms zwischen den Rauschimpulsen war dieser Primacy-Effekt (mit Ausnahme einer Versuchsperson) deutlich schwächer ausgeprägt. Dieses Ergebnis kann nicht allein auf sensorische Verarbeitungsmechanismen zurückzuführen sein. Aufgrund z.T. starker individueller Unterschiede in Gewichtungsstrategien von Versuchspersonen muss darauf geschlossen werden, dass auch kognitive

Einflüsse keine unwesentliche Rolle spielen.

Die Reizbedingungen beinhalten eine Art “Trade-off“ zwischen der Möglichkeit, die Pegel der Rauschimpulse einzeln gut aufzulösen auf der einen Seite, und auf der anderen Seite alle Rauschimpulse als ein Ereignis im Gedächtnis zu behalten, so dass nach der Darbietung des Reizpaares in jedem Durchgang ein Urteil über die Gesamtlautheit einer Pulsfolge gefällt werden konnte. Geht man von einem ca. 150-200 ms langen Integrationsfenster aus (“energy detection model“; z.B. Green, 1960; “sliding temporal window of integration“; z.B. Näätänen, 1992), so fallen bei kurzen Pausen mehr Rauschimpulse in ein Zeitfenster, die zu einem Ereignis gruppiert werden, als bei längeren Pausen. Auf diese Weise sind weniger Einheiten im Gedächtnis zu speichern, was dadurch den Pulsfolgen mit kurzen Pausen einen Vorteil bei der Lautheitsbeurteilung bieten sollte. Die Bedingung mit langen Pausen von 100 ms hat demgegenüber den Vorteil, dass Einzelkomponenten zeitlich so weit auseinander liegen, dass sie gut einzeln auflösbar sind und ihre Pegelinformation bewusst verarbeitet werden kann sowie der Pegelverlauf bewusst zu verfolgen ist. Die Ergebnisse zeigen, dass die bessere Auflösbarkeit der Einzelsegmente und damit die Beteiligung kognitiver Verarbeitung den meisten Versuchspersonen keinen Vorteil bringt, sondern vielmehr der Gedächtniseffekt der entscheidende Faktor zu sein scheint. Sechs von acht Versuchspersonen erzielten in der Bedingung mit 5 ms kurzen Pausen die meisten richtigen Antworten, eine Versuchsperson in der Bedingung mit 40 ms langen Pausen. Nur Versuchsperson BA erzielte ihr bestes Ergebnis in der Bedingung mit Pausen von 100 ms.

Die Diskriminationsleistung zeigt auch, dass Versuchspersonen jeweils in der Bedingung, in der ihnen eine Gleichgewichtung aller Komponenten am besten gelang, im Durchschnitt auch die meisten richtigen Antworten erzielten. Da die Pegel der in einem Durchgang präsentierten Reizpaare zufällig und unabhängig voneinander aus Normalverteilungen gezogen worden waren, die sich im Mittel um 1 dB unterschieden, war die optimale Strategie in dieser Aufgabe, alle Reizkomponenten gleich stark in das Urteil einfließen zu lassen. Denn da alle Rauschimpulse statistisch gesehen gleich viel Information trugen, sollte sich die Wahrscheinlichkeit einer richtigen Antwort durch eine Gleichgewichtung aller Segmente erhöhen.

In Experiment 1 war damit aber auch die Art der Gewichtung mit der zeitlichen Verteilung der Rauschimpulse konfundiert. Bis auf die Ausnahme von Versuchsperson BA wurden einzelne Segmente nicht unabhängig voneinander gewichtet, wenn sie sehr schnell aufeinander folgten (Pausen von 5 ms). Das heißt, aus den Gewichtsmustern ist nicht ersichtlich, dass einzelne Segmente “herausgegriffen“ wurden, um sie z.B. deutlich stärker oder schwächer zu benutzen oder ins Urteil einfließen zu lassen als unmittelbare Nachbarsegmente. Dies repliziert das Ergebnis von Schrödl (2001), wo auch tendenziell flache Gewichte resultierten bei der Integration der Lautheit über zehn Segmente von 20 ms Dauer, die ohne Pause aneinander gereiht waren. Der Grund dafür konnte nun sein, dass es aufgrund der beschränkten Auflösungsfähigkeit des Gehörs (den meisten Versuchspersonen) nicht möglich war, die Information aus einzelnen Segmenten selektiv zu nutzen. Es war denkbar, dass bei so raschen Pegeländerungen alle Reizelemente, die innerhalb eines Zeitfensters zu einem Reizereignis gruppiert werden, auch nur im Verbund beurteilt werden können und somit stets das gleiche Gewicht zugewiesen bekommen bzw. zumindest ein ähnliches Gewicht. Das würde für Experiment 1 bedeuten, dass die Gleichgewichtung bei kurzen Pausen keine bewusste Entscheidung oder Strategie war, sondern Versuchspersonen vielmehr die Segmente gar nicht selektiv und unabhängig voneinander einzeln gewichten *konnten*.

Diese Frage ließ sich allein aufgrund der Ergebnisse von Experiment 1 noch nicht entscheiden. Denn bei der Aufgabe der Lautheitsintegration war es noch nicht notwendig, Einzelelemente eines Reizes selektiv zu gewichten, um die Aufgabe adäquat zu lösen, im Gegenteil erwies es sich ja als eher hinderlich. Will man deshalb stattdessen ausdrücklich die Fähigkeit prüfen, ob es für einen Hörer möglich ist, Einzelsegmente von nur 20 ms Dauer (oder kürzer) selektiv zu nutzen, wenn diese ohne Pause aneinander gereiht sind, so muss man die gestellte Aufgabe so ändern, dass selektive Nutzung von Einzelkomponenten unabdingbar für ihre Lösung ist. Hierfür wurden *Lautheitsprofile* konstruiert. Eine Profilaufgabe, in der gerade nur bestimmte einzelne zeitliche Segmente im Reiz die Information tragen, auf die es ankommt, kann zeigen, wie selektiv und effizient das auditive System schnell aufeinander folgende Pegelinformation wirklich nutzen kann. Die Experimente 2 bis 5 überprüften dies, indem verschiedene Muster von Lautheitsprofilen zur Unterscheidung dargeboten wurden.

In **Experiment 2** mussten Versuchspersonen in einem 2IFC-Verfahren zunächst Lautheitsprofile mit einer Pegelspitze in der Mitte des Reizes von bis auf Zufallsfluktuationen 'flachen' Lautheitsprofilen unterscheiden. Damit enthielt nur noch eines der zehn Segmente, aus denen die Lautheitsprofile zusammengesetzt waren, Pegelinformation, die für die Lösung der Aufgabe entscheidend war. Optimal war demnach für diese Art der Aufgabe ein Gewichtsmuster, das selektiv die Komponente mit Intensitätsspitze mit einem hohen positiven Gewicht belegte. Experiment 2 konnte zeigen, dass Versuchspersonen tatsächlich in der Lage sind, Einzelsegmente selektiv zu gewichten, und zwar selbst im Falle von 20 ms-Komponenten, die ohne Unterbrechung aufeinander folgten. Bei solch schnellen Lautheitsänderungen ist es nicht mehr möglich, den Pegelverlauf der 20 ms-Segmente bewusst zu verfolgen. D.h., eine Versuchsperson könnte beispielsweise den Pegelverlauf bei so kurzen Zeitsegmenten nicht "nachzeichnen", was ihr jedoch bei 100 ms-Segmenten noch gelingen sollte. Dennoch muss aufgrund der erhaltenen Gewichtsmuster davon ausgegangen werden, dass bei der Verarbeitung solch schneller Pegelverläufe ein Mechanismus am Werke ist, der die relevante Pegelinformation zeitlich präzise aus den Lautheitsprofilen extrahieren kann, um sie für die Aufgabe zu nutzen. Das Segment mit Intensitätsspitze bekommt ein hohes positives Gewicht und wird kontrastiert zu den beiden Nachbarsegmenten, die negative Gewichte erhalten.

Experiment 3 erhöhte die Anforderungen an das auditive System bei der Unterscheidung von Lautheitsmustern weiter. Hier mussten Versuchspersonen nicht nur ein Profil mit Inkrement von einem solchen ohne Inkrement unterscheiden, sondern beurteilen, ob sich in einem dargebotenen Intervall die Intensitätsspitze am Anfang oder Ende befunden hatte. Gefordert war also nun eine Unterscheidung der Lautheitsmuster nach der *Form*. Da hier das Paradigma eines 1IFC-Verfahrens gewählt wurde, war es auch nicht mehr möglich, die Aufgabe aufgrund eines direkten Vergleichs von zwei Rauschintervallen eines Reizpaares zu lösen. Versuchspersonen mussten vielmehr in jedem Durchgang das dargebotene Reizintervall dem Muster "Inkrement am Anfang" oder "Inkrement am Ende" zuordnen. Ferner wurde die Segmentdauer in einer Bedingung noch weiter verringert, so dass jetzt Lautheitsmuster bestehend aus 10 ms-Segmenten und 20 ms-Segmenten dargeboten wurden. Experiment 3 konnte

zeigen, dass es dem auditiven Verarbeitungsprozess selbst unter diesen Bedingungen noch gelingt, die Information aus Einzelsegmenten zeitlich präzise zu nutzen. Dies zeigen wieder die Gewichtsfunktionen, die erkennen lassen, dass Versuchspersonen jeweils einen deutlichen Akzent auf die Segmentposition setzen, die in einem Intervall die Intensitätsspitze enthielt - und das selbst bei 10 ms kurzen Einzelsegmenten. Jedoch deutete sich in dieser Aufgabe schon an, dass Pegelinformation zu Beginn eines Reizes schwieriger zu verwerten ist als Pegelinformation, die gegen Ende des Reizes auftritt: Lautheitsmuster mit der Intensitätsspitze am Ende wurden im Schnitt häufiger richtig erkannt als Lautheitsmuster mit einer Intensitätsspitze zu Beginn des Reizes.

Dies eröffnet eine weitere interessante Fragestellung. Denn die Theorien zur Bildung einer Reizrepräsentation (siehe Näätänen & Winkler, 1999) sprechen gerade davon, dass die frühe Reizphase kritisch ist und am ehesten verloren gehen kann bei der Bildung einer Reizrepräsentation über die Information, die innerhalb der Zeitspanne eines gleitenden Integrationsfensters aufgenommen wird. Auf der anderen Seite haben frühe (und späte) Items bei Gedächtnisaufgaben häufig einen Vorteil gegenüber mittleren Items.

Experiment 4 untersuchte daher systematisch den Einfluss der Inkrementposition auf die Entdeckbarkeit des Inkrements. Es zeigte sich, dass Pegelspitzen auf den letzten Positionen besser erkannt werden als auf Anfangspositionen. Dieser Recency-Effekt bestätigte Befunde von Watson et al. (1975), die ebenfalls bei der Unterscheidung von Tonmustern Recency-Effekte erhielten. Auch die Gewichtsfunktionen in Experiment 4 zeigen, dass es für Versuchspersonen zwar nicht unmöglich, aber doch besonders schwierig ist, präzise zeitliche Gewichte auf die Inkrementposition zu setzen, wenn das Inkrement in den ersten etwa 100 ms des Reizes auftaucht.

In **Experiment 5** wurde schließlich untersucht, welche Rolle die Segmentanzahl bei der Entdeckung eines Inkrements spielt. Es zeigte sich, dass außer bei sehr kurzen Reizen sich die Diskriminationsleistung verschlechterte, wenn mehr Komponenten hinzugefügt wurden. Nur bei kurzer Segmentdauer (20 ms) sanken die Unterschiedsschwellen zunächst beim Hinzufügen weiterer Komponenten vor und nach dem

Inkrement, etwa bis zu einer Gesamtreizdauer von 140 ms. Hier konnten Probanden offensichtlich von zusätzlichen Vergleichsmöglichkeiten innerhalb eines Reizes profitieren, während noch mehr zusätzliche Komponenten eher als “informational masking“ wirkten und die Entdeckung des Inkrements erschwerten. Die Ergebnisse mit langen Segmentdauern (100 ms) passen zu den Ergebnissen von Kidd & Watson (1992) für die Unterscheidung von Tonmustern und die von ihnen entwickelte “PTD-Regel“. Diese Autoren fanden heraus, dass insbesondere der Anteil der Dauer einer Zielkomponente an der Gesamtreizdauer deren Entdeckbarkeit beeinflusst und dass sich mit zunehmendem Anteil an der Gesamtreizdauer die Entdeckbarkeit erhöht (“proportion of the total duration“, PTD). Laut Watson et al. (1990) weist die PTD-Regel auf Verarbeitungsprozesse hin, die nach der vollständigen Darbietung eines Reizes einsetzen müssen, denn vor dem Ende eines Reizes ist noch nicht abzusehen, wie groß der Anteil der Zielkomponentendauer an der Gesamtreizdauer sein würde. Die Ergebnisse für Unterschiedsschwellen bei der kurzen Segmentdauer (20 ms) in Experiment 5 weichen jedoch von dieser PTD-Regel ab. Damit wurde ein erster Ansatz betrieben, die PTD-Regel nicht nur bei Tonmustern, sondern auch bei Lautheitsmustern zu untersuchen. Hier zeigte sich, dass die Regel zumindest bei kurzen Segmentdauern von 20 ms verletzt sein kann. Um genauere Aussagen machen zu können, bedarf es aber weiterer systematischerer Untersuchungen in diesem Bereich.

7.2 Diskussion des Gesamtergebnisses

Zusammenfassend lässt sich aufgrund der Ergebnisse feststellen, dass Hörer Lautheitsmuster korrekt identifizieren können, die aus raschen und unregelmäßigen Pegelfluktuationen (50-100 Hz) konstruiert sind. Zum anderen sind Hörer offensichtlich in der Lage, Gewichtungsstrategien flexibel der jeweiligen Aufgabenstellung anzupassen. Je nach Aufgabenstellung integriert das Gehör entweder über einen längeren Zeitbereich (Lautheitsintegration) oder diskriminiert mit feiner zeitlicher Auflösung (zeitliche Profilanalyse). Bewusst lassen sich Pegelverläufe bei so raschen Fluktuationen nicht mehr verfolgen. Dennoch muss ein Mechanismus am Werke sein, der auf sensorischer Ebene eine Analyse der Pegelfluktuationen ermöglicht und durchführt. Die Untersuchung

mittels der Gewichtsschätzung erlaubt eine Analyse dahingehend, welche *Reizteile* für die Antwort einer Versuchsperson eine Rolle spielen, obgleich von den Probanden nur ein globales Urteil über den Gesamtreiz erforderlich ist. Die hier resultierenden Gewichtsfunktionen können diese unterschiedlichen Strategien sehr gut reflektieren und somit dazu beitragen, die innere Struktur von Entscheidungsprozessen bei Wahrnehmungsaufgaben zu entschlüsseln. Damit lässt sich auch zeigen, wie flexibel Versuchspersonen die *Nutzung einzelner Reizteile* in jeder Aufgabe anpassen können. Die Gewichtsmuster aus allen Experimenten zeigen, dass es Versuchspersonen gut gelingt, Reizinformation je nach ihrer Relevanz für die Aufgabe zu nutzen. Bei Lautheitsintegration (Experiment 1) ist es gefragt, die Pegelinformation über alle Reizsegmente zu integrieren. Hier erhalten auch fast alle Segmente Gewichte, die sich signifikant von 0 unterscheiden, wenn auch die Verteilung der Gewichte nicht in allen Bedingungen optimal ist. Bei Profilaufgaben dagegen (Experimente 2 bis 5), wo insbesondere die Pegelinformation in dem Zeitsegment interessiert, in das eine Intensitätsspitze eingebaut ist, zeigen die Gewichtsfunktionen, dass Versuchspersonen auch hier zeitlich sehr präzise hohe positive Gewichte auf dieses Segment legen können. Negative Gewichte auf den Nachbarsegmenten zeigen, dass Kontraste zwischen den richtigen Segmenten gebildet werden. Problematisch wird nur zusätzliche Pegelinformation vor allem an den Rändern der Reize, wodurch die Versuchspersonen offensichtlich abgelenkt werden ("informational masking"). Eine weitere Schwäche lässt sich erkennen, wenn Inkremente nahe am Reizanfang zu entdecken sind. In diesem Zeitbereich gelingt es laut erhaltenen Gewichtsmustern auch den meisten Probanden nicht so gut, die Pegelinformation zeitlich so präzise zu nutzen wie auf späteren Segmenten. Eine Erklärung dafür könnte eine unvollständige Verarbeitung in frühen Reizbereichen sein, wenn diese Information von nachfolgender Information "überschrieben" wird bzw. die Bildung der Reizrepräsentation von später Reizinformation dominiert wird. Die Ergebnisse stünden somit im Einklang mit Verhaltensstudien zu "backward recognition masking" (Foyle & Watson, 1984; Massaro, 1970) und "Mismatch-Negativity"-Studien (Winkler & Näätänen, 1994). Die Verhaltensstudien zeigten, dass Information eines Testtons unvollständig verarbeitet wird, wenn innerhalb eines Zeitintervalls von 150-200 ms nach dem Testton eine Maskierung dargeboten wurde. Winkler & Näätänen (1994) konnten zeigen, dass eine Maskierung (Dauer 100 ms), die in kurzem zeitlichen Abstand auf einen Standardton (Dauer 50 ms) folgte, auch die Auslösung einer MMN verhinderte,

wenn auch auf den abweichenden Ton der Maskierer folgte. Dies wurde so interpretiert, dass die Reizrepräsentationen jeweils vom Maskierer dominiert wurden, weshalb die Auslösung einer MMN verhindert wurde.

Diese Maskierung ist offensichtlich nicht nur ein Effekt der Menge nachfolgender Reizinformation, die vorher eingegangene möglicherweise überschreibt. Dies zeigt ein Vergleich der Ergebnisse der Experimente 4 und 5. Auch wenn ein Reiz nur aus 3 Segmenten besteht (Experiment 5), ist es schwierig, ein Inkrement auf der 2. Position zu entdecken - ähnlich wie in Experiment 4, wo auf die 2. Position mit Inkrement noch acht Segmente mit zufälliger Pegelfluktuations folgten.

Es scheinen u.U. zwei Phänomene zusammenzuwirken: Auf der einen Seite scheinen bei kurzen Reizsegmenten Vergleichsmöglichkeiten zu helfen, die Spitze zu entdecken, wie Experiment 5 zeigt. Auf der anderen Seite wirkt "informational masking" nach dem Inkrement bzw. die Dominanz später Reizkomponenten bei der Bildung einer Reizrepräsentation gegen die Entdeckung des Inkrements. Um mehr Aufschlüsse über die Effekte von Reizdauer, Inkrementposition und Segmentanzahl zu bekommen, müsste jedoch ein Experiment durchgeführt werden, das in *einem* Paradigma (z.B. nur Messung der Unterschiedsschwellen) diese Zusammenhänge systematisch untersucht, indem die Position des Inkrements beibehalten, aber die Segmentanzahl variiert wird - und geprüft wird, welchen Einfluss das auf vergleichbar gemessene Schwellen hat.

7.3 Beobachtereffizienz und Gewichtungsstrategien

Von den geschätzten Gewichtsmustern wird angenommen, dass sie die impliziten "Strategien" von Versuchspersonen reflektieren bzw. sensorische Verarbeitungsmechanismen zu entschlüsseln helfen. Es wird jedoch vielfach deutlich, dass sie zwar in der Tendenz gut zeigen können, warum einzelne Versuchspersonen in der Entdeckung von Inkrementen mehr Schwierigkeiten haben als andere - z.B. wenn sie suboptimale Gewichtungsstrategien anwenden. Jedoch erweist sich der Zusammenhang zwischen dem Ausmaß suboptimaler Gewichtung und der Diskriminationsleistung einzelner Probanden nicht immer als sehr stringent und eindeutig. Diese Beobachtung wird von verschiedenen Autoren auf unterschiedliche mögliche Phänomene zurückgeführt.

7.3.1 Suboptimale Gewichtung und “internal noise“

Bereits Swets et al. (1959) gingen davon aus, dass Ineffizienz bei der Entdeckung von multiplen Signalen in Rauschen durch zwei Faktoren verursacht werden kann (siehe Berg, 2004):

- Die Information aus verschiedenen Kanälen wird nicht optimal kombiniert oder integriert. Dies entspricht der Anwendung einer suboptimalen Gewichtungsstrategie durch einen Beobachter und ist als Anteil *systematischer* Ineffizienz zu betrachten.
- Zusätzlich trägt der Faktor “internal noise“ als *zufälliger* Faktor zur Ineffizienz bei. Er beinhaltet die gesamte, einem Probanden “innewohnende“ (biologische) Variabilität in seinem Antwortverhalten (“inherent variability of the listener“), die verursacht sein kann durch Faktoren wie momentane Unaufmerksamkeiten eines Probanden, Gedächtniseffekte oder momentane Fluktuationen im biochemischen Haushalt der Zellen, die für die Verarbeitung der akustischen Information verantwortlich sind (Berg, 2004).

Die gesamte zu beobachtende Ineffizienz im Antwortverhalten einer Versuchsperson setzt sich demnach aus diesen beiden Faktoren, einer systematischen und einer zufälligen Komponente, zusammen. Berg (1990, 2004), sowie Berg & Green (1990, 1992) stellen Verfahren vor, mit Hilfe derer der jeweilige Anteil der systematischen und der zufälligen Komponente an der Beobachterineffizienz rechnerisch bestimmt und aus den Daten geschätzt werden kann. Es werden drei Arten von Effizienzmaßen unterschieden:

1. Das Maß η_{obs} für die beobachtete Leistung relativ zur idealen Leistung (“observer performance relative to ideal performance“):

$$\eta_{obs} = \left(\frac{d'_{obs}}{d'_{ideal}} \right)^2 \quad (7.1)$$

2. Der Verlust an Effizienz η_{wgt} , der durch nicht-optimale Gewichte zustande kommt:

$$\eta_{wgt} = \left(\frac{d'_{wgt}}{d'_{ideal}} \right)^2 \quad (7.2)$$

η_{wgt} repräsentiert hier die Effizienz eines hypothetischen Beobachters, der sich bis auf eine nicht-optimale Gewichtungsstrategie ideal verhält (Berg, 1990). D.h., “internal noise“ ist hier ausgeschlossen. Wäre $\eta_{wgt} = 1$, wäre die Gewichtungsstrategie eines Beobachters optimal.

3. Das Effizienzmaß η_{noise} , das den (zusätzlichen) Verlust an Effizienz durch andere Faktoren als suboptimale Gewichte enthält, wie z.B. “internal noise“:

$$\eta_{noise} = \left(\frac{d'_{obs}}{d'_{wgt}} \right)^2 \quad (7.3)$$

D.h., η_{noise} enthält alle Anteile an der beobachteten Ineffizienz, die nicht durch suboptimale Gewichtung erklärt werden können. Entsprechend der Konstruktion von η_{noise} ist es als Effizienzmaß so zu interpretieren: je kleiner η_{noise} , desto größer der Verlust an Effizienz durch “internal noise“.

Diese drei Effizienzmaße sollen folgendermaßen zusammenhängen:

$$\eta_{wgt} \times \eta_{noise} = \eta_{obs} \quad (7.4)$$

oder

$$\left(\frac{d'_{wgt}}{d'_{ideal}} \right)^2 \times \left(\frac{d'_{obs}}{d'_{wgt}} \right)^2 = \left(\frac{d'_{obs}}{d'_{ideal}} \right)^2 \quad (7.5)$$

Damit kann laut Berg (1990) der Anteil suboptimaler Gewichte an der Diskriminationsleistung von anderen Faktoren wie “internal noise“ rechnerisch getrennt werden und aus den Daten ermittelt werden. Dieses Verfahren bietet interessante Einblicke in das Entscheidungsverhalten der Teilnehmer. Dies soll anhand der Ergebnisse aus Experiment 1 beispielhaft erläutert werden. Die Lautheitsintegrationsaufgabe in Experiment 1 ist in diesem Zusammenhang besonders interessant, da sich nur hier die Gewichtungsmuster zwischen den Experimentalbedingungen (Pausen von 5, 40 und 100 ms zwischen den dargebotenen Rauschimpulsen) signifikant voneinander unterscheiden.

Die einzelnen d' -Maße können für Experiment 1 nach folgenden Formeln berechnet werden:

d'_{obs} ist nach Macmillan & Creelman (1991) das aus den Daten zu berechnende d' für den Fall einer 2IFC-Aufgabe:

$$d' = \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \right) [z(H) - z(F)] \quad (7.6)$$

mit

$$\begin{aligned} H &= P(\text{Antwort "Signal in Intervall 1" | Signal in Intervall 1}) \\ F &= P(\text{Antwort "Signal in Intervall 1" | Signal in Intervall 2}) \end{aligned} \quad (7.7)$$

d'_{ideal} für Experiment 1 berechnet sich laut Berg (1990), sowie Berg & Green (1990) aus der Formel:

$$d'_{ideal} = \sqrt{2} \left[\frac{\Delta\mu \sum \hat{a}_i}{(\sum \hat{a}_i^2 \sigma_i^2)^{1/2}} \right] \quad (7.8)$$

mit \hat{a}_i als ideale Gewichte. Da die idealen Gewichte \hat{a}_i in Experiment 1 gleich 0.1 sind und $\Delta\mu$ gleich 1 dB, errechnet sich ein d'_{ideal} von 2.2361.

d'_{wgt} berechnet sich laut Berg (1990), sowie Berg & Green (1990) nach:

$$d'_{wgt} = \sqrt{2} \left[\frac{\Delta\mu \sum a_i}{(\sum a_i^2 \sigma_i^2)^{1/2}} \right] \quad (7.9)$$

mit a_i als die aus den Daten geschätzten Gewichte.

Die Tabelle 7.1 gibt die über alle Versuchspersonen gemittelten Schätzungen für die jeweiligen Effizienzmaße η_{obs} , η_{wgt} und η_{noise} in den drei Bedingungen "Pausen von 5, 40 und 100 ms" wieder.

Die Entwicklung des Effizienzmaßes η_{wgt} zeigt, dass die Rauschimpulse in Experiment 1 mit zunehmender Pausenlänge nicht mehr so effizient gewichtet werden wie bei kürzerer Pausenlänge. η_{wgt} ist in den Bedingungen "Pausen von 40 ms" und "Pausen von 100 ms" deutlich niedriger als in der Bedingung "Pausen von 5 ms". Das spiegelt genau den Verlauf der Gewichtsfunktionen in den drei Experimentalbedingungen wider.

Tabelle 7.1: Mittlere Effizienzmaße nach Berg (1990) für Experiment 1 in den drei untersuchten Bedingungen “Pausen von 5 ms, 40 ms und 100 ms“.

Pausen von	Geschätzte Effizienzmaße		
	η_{obs}	η_{wgt}	η_{noise}
5 ms	0,1324	0,8598	0,1491
40 ms	0,1167	0,7648	0,1488
100 ms	0,0892	0,7656	0,1184

(siehe Abb. 2.11 auf Seite 63). In der Bedingung “Pausen 5 ms“ werden die Segmente tendenziell flacher und damit für diese Aufgabe “optimaler“ gewichtet, was sich gerade in dem hohen η_{wgt} -Wert von 0,8598 zeigt. Damit ist der Unterschied in der Diskriminationsleistung zwischen der Bedingung “Pausen 5 ms“ und den Bedingungen “Pausen von 40 und 100 ms“ ($\eta_{obs}=0,1324$ im Fall der kurzen Pausen im Vergleich zu $\eta_{obs}=0,1167$ und 0,0892 bei längeren Pausen) in erster Linie auf die ineffizientere Gewichtung zurückzuführen. Der weitere Abfall in der Diskriminationsleistung zwischen den Bedingungen “Pausen 40 ms“ und “Pausen 100 ms“ (η_{obs} fällt von 0,1167 auf 0,0892) ist jedoch nicht mehr durch Unterschiede in der Effizienz der Gewichtung zu erklären, denn η_{wgt} ist mit 0,7648 und 0,7656 hier fast identisch. Es zeigt sich vielmehr in den Werten für das Effizienzmaß η_{noise} , dass der Verlust an Effizienz durch “internal noise“ in der Bedingung mit Pausen von 100 ms für diesen Unterschied verantwortlich ist. Dies mag insbesondere auf Gedächtniseffekte zurückzuführen sein. Die Analyse mittels der vorgestellten Effizienzmaße bietet damit ein gutes Instrument, um den Anteil suboptimaler Gewichtung an Unterschieden in der Diskriminationsleistung von Probanden und zwischen Experimentalbedingungen herauszufiltern. Die vorgestellten Modelle zur Analyse des Entscheidungsverhaltens (Berg, 1989, 1990, 2004; Berg & Green, 1990, 1992) gehen davon aus, dass ein Proband in jedem Durchgang im Wesentlichen *fixe* Gewichte anwendet und sich Diskrepanzen zwischen Gewichtungseffizienz und Diskriminationsleistung durch andere, zufällige Faktoren wie den Einfluss von “internal noise“ erklären lassen. Eine andere Interpretation wird von Lutfi (1992) angeführt, der die Verwendung fixer Gewichte in Zweifel zieht.

7.3.2 Beobachterineffizienz durch wechselnde Gewichte

Lutfi (1992) führt die These an, dass Versuchspersonen ihre Gewichtungstrategie nicht über alle Durchgänge hinweg konstant beibehalten, sondern ihre Strategie möglicherweise von Durchgang zu Durchgang *wechseln*, oder doch zumindest die dargebotene Information flexibler nutzen, als es Modelle mit fixen Gewichten annehmen. Ist dies der Fall, so können die mittels z.B. der COSS-Analyse (Berg, 1989) ermittelten Gewichtungstrategien die Diskriminationsleistung nur unzureichend erklären.

Beobachtungen aus den verschiedenen Experimenten in der vorliegenden Arbeit zeigen, dass ein Wechseln der Gewichtungstrategie von Durchgang zu Durchgang nicht ausgeschlossen werden kann. In Experiment 3 benutzen Versuchspersonen beispielsweise nicht dieselben Gewichte für “Signal“- und “Noise“-Intervalle, sondern es ergeben sich für diese beiden Reizarten deutlich unterschiedliche Gewichtsmuster. Diese Strategie flexibler Gewichtung ist für diese Aufgabe auch durchaus sinnvoll. Genauso zeigen sich z.B. auch in den Experimenten 1 und 2 gewisse, wenn auch geringfügige, Unterschiede in der Gewichtung der Fälle “Signal in Intervall 1“ oder “Signal in Intervall 2“ (siehe z.B. Abbildungen 7.1, 7.2 und 7.3 im Anhang B1, ab S. 233) oder Abbildungen 7.4 und 7.5 im Anhang B2, ab S. 241). Obgleich diese Unterschiede nicht groß sind, könnten sie dennoch gewisse Diskrepanzen zwischen geschätzten Gewichten und Leistung erklären. Es kann auch eine durchaus sinnvolle Strategie sein, seine Gewichtung je nach Reizsituation in einem Durchgang anzupassen. Ist sich eine Versuchsperson z.B. schon nach dem ersten Intervall sicher, ob das Intervall eine Intensitätsspitze enthielt oder nicht, wird sie das zweite Intervall im Durchgang anders anhören und gewichten, als wenn ihre Entscheidung noch nicht feststeht. Damit wäre das korrekte Modell, das dieser Entscheidung zugrunde liegt, kein Vergleich von zwei gewichteten Summen aus der Information von Intervall 1 und 2, sondern der Vergleich *einer* gewichteten Summe mit einem gespeicherten “Reizmuster“ (Template). Auch kann es in einem Intervall je nach zufälliger Pegelfluktuations mehr oder weniger sinnvoll sein, Vergleiche zwischen den Segmenten durchzuführen. Einmal wird sich ein Proband vielleicht mehr auf den Unterschied zwischen Pegel im Inkrementsegment und Nachbarsegmenten stützen, im anderen Durchgang reicht der Pegel im Inkrementsegment alleine für eine Entscheidung. Dadurch können die beobachtbaren Diskrepanzen zwischen Gewichtsschätzung und Leistung entstehen. Nimmt man des-

halb an, das Wahrnehmungssystem nutzt dargebotene Information flexibler im Sinne von “sinnvoller“, als es z.B. das COSS-Modell mit fixen Gewichten annimmt, dann müsste die beobachtbare Diskriminationsleistung der Probanden besser sein, als es die Gewichtsmuster vorhersagen würden. Dies ist aber gerade nicht der Fall. Wie die hohen Werte für η_{wgt} in Tabelle 7.1 zeigen, würden die für die Probanden ermittelten Gewichtungsstrategien eine viel bessere Diskriminationsleistung vorhersagen. Die tatsächlich gemessene Diskriminationsleistung muss also durch zusätzliche Faktoren wie “internal noise“ oder nicht konstante Verwendung der Gewichte von Durchgang zu Durchgang geschmälert werden. So schließt Lutfi (1992, S. 3400) auch: “Weighting functions computed from the trial-by-trial data suggest that limits in performance probably result from variability in the weights or “confusions“ that occur from trial to trial, rather than a constant application of nonoptimal weights.“

7.4 Gedächtniseffekte

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sind auch explizit im Zusammenhang mit Gedächtniseffekten zu diskutieren. Grundsätzlich können zwei Arten von Gedächtnisbeschränkungen unterschieden werden (siehe Cowan et al., 1997): Zum einen die Verfallscharakteristik einer Gedächtnisspur (“decay“), wodurch eine Repräsentation allein durch das Fortschreiten der Zeit schwächer oder unvollständiger wird (z.B. Broadbent, 1958). Zum anderen eine Kapazitätsbegrenzung, wonach nicht beliebig viele Items gleichzeitig im Gedächtnis zu behalten sind (z.B. Miller, 1956; “magical number seven“). Diese zweite Beschränkung kann als Interferenzphänomen beschrieben werden: Bei beschränkter Kapazität ist der Verlust eines Items auf die Interferenz durch andere Items zurückzuführen (Cowan et al., 1997).

Was den Einfluss von Verfallscharakteristiken (“decay rates“) betrifft, so stellten Clément et al. (1999) fest, dass die sensorischen Spuren für Lautheit in den ersten zwei Sekunden nach Reizdarbietung viel schneller abnehmen als für Tonhöhe. Nimmt man nun an, die *absolute* Zeit zwischen der Darbietung eines Inkrements in einem Lautheitsprofil und der Urteilsabfrage hätte einen Einfluss auf die Entdeckbarkeit des Inkrements, so könnte das die Ergebnisse in Experiment 4 erklären, nicht jedoch die Ergebnisse in Experiment 5. In Experiment 4 enthielten alle Reizintervalle zehn Segmente. Dadurch war tatsächlich bei einer Inkrementposition auf den ersten Segmenten

mehr Zeit zwischen der Darbietung des Inkrements und der Urteilsabgabe vergangen als bei einer Inkrementposition auf den letzten Segmenten. Diese Tatsache könnte die niedrigen Diskriminationsleistungen bei früher Inkrementposition erklären. Die Erklärung greift jedoch nicht mehr in Experiment 5 in der Bedingung “kurze Reize“ mit Segmentdauern von 20 ms, wo die Segmentanzahl variiert wurde. Hier sanken die Unterschiedsschwellen für die Entdeckung eines Inkrements zunächst mit zunehmender Segmentanzahl. D.h., gerade in der Bedingung (3 Segmente), in der am wenigsten Zeit zwischen Darbietung des Inkrements und der Urteilsabgabe verstrichen ist, resultierten höhere Schwellen als in der Vergleichsbedingung mit 5 Segmenten. Damit kann die Verfallsrate der sensorischen Gedächtnisspur für die dargebotenen Lautheitsprofile nicht die alleinige Ursache für die erhaltenen Ergebnisse sein.

Eine weitere Erklärungsmöglichkeit wäre der Verlust bestimmter Items einer Gedächtnisaufgabe, in diesem Fall der Verlust von Pegelinformation aus einem oder mehreren Segmenten, durch Interferenz anderer Items, in diesem Fall durch Interferenz der Pegelinformation aus den übrigen Segmenten eines Intervalls. Wendet man diese These auf die Lautheitsintegrationsaufgabe (Experiment 1) an und geht davon aus, dass das sensorische Gedächtnis aufgrund einer Kapazitätsbeschränkung nicht die Pegelinformation aller zehn Segmente (gleich gut) behalten kann, so könnte das die resultierenden Primacy-Effekte gut erklären. Da nicht alle Information für die Urteilsabgabe gespeichert werden kann, beschränkt sich die Versuchsperson auf die Information aus den ersten Segmenten und trifft ihre Entscheidung möglicherweise auch schon nach den ersten Segmenten. Die flacheren Gewichtsfunktionen bei kurzen Pausen von 5 ms zeigen aber, dass eine mögliche Kapazitätsbeschränkung, sollte sie vorhanden sein, nicht allein von der *Anzahl* der zu integrierenden Reizkomponenten abhängen kann, sondern auch entscheidend von deren zeitlicher Verteilung beeinflusst wird. Bei Aufgaben mit *Lautheitsprofilen* (Experimente 2-5) kann eine reine Kapazitätsbeschränkung des sensorischen Gedächtnisses keine Rolle spielen, denn hier interessierte jeweils die Pegelinformation in *einer* Komponente und nicht so sehr der Gesamtreiz. Es musste nicht die Pegelinformation aus allen Reizsegmenten gleichermaßen genutzt werden, um die Aufgabe richtig zu lösen. Die Gewichtsfunktionen in diesen Aufgaben zeigen auch, dass Versuchspersonen in der Lage waren, die dargebotene Information flexibel für die Lösung der jeweiligen Aufgabe einzusetzen. Gleichwohl spielte sicher die Interferenz durch Kontextkomponenten im Sinne von

“informational masking“ eine Rolle. Zusätzliche irrelevante Information behindert in der Regel die Diskriminationsleistung. Das zeigen die Ergebnisse von Experiment 4 und 5.

Ein weiterer Faktor, der die Diskrimination von Lautheitsprofilen beeinflussen könnte, ist die Dauer des Inter-Stimulus-Intervalls (ISI). Variiert man bei der Unterscheidung von Tonmustern das Inter-Stimulus-Intervall, so zeigt sich mit zunehmendem ISI eine stärkere Tendenz zum Primacy-Effekt bei abnehmendem Recency-Effekt. Dieses Ergebnis folgt damit dem Distinctiveness-Modell, wonach erste Items einer Liste mit zunehmendem ISI salienter werden (Surprenant, 2001). Werner (2002) untersuchte bereits den Einfluss des ISI auf Primacy- und Recency-Effekte bei der Lautheitsintegration von im Pegel fluktuierenden Schallen. Es ergab sich keine erkennbare Änderung hinsichtlich einer Tendenz zu einem größeren Primacy- oder Recency-Effekt. Aus diesen Ergebnissen in einer Aufgabe, in der Lautheitsintegration gefordert war, lässt sich aber nicht schließen, dass eine Lautheitsprofilaufgabe mit wechselnder Inkrementposition (analog zu Experiment 2) zu ähnlichen Ergebnissen kommen muss. Im Gegenteil hat sich bei den bisherigen Ergebnissen in den Gewichtsfunktionen keine Analogie zwischen Lautheitsintegration und Unterscheidung von Lautheitsprofilen gezeigt. Während bei der Lautheitsintegration häufig ein starker Primacy-Effekt zu beobachten ist (siehe Experiment 1 in dieser Arbeit, sowie Schrödl, 2001; Ellermeier & Schrödl, 2000), ist es bei Lautheitsprofilen demgegenüber gerade am schwierigsten, Inkremente am Anfang eines Reizes zu entdecken. Es ist daher zu vermuten, dass eine Variation des ISI bei der Unterscheidung von Lautheitsprofilen mit wechselnden Inkrementpositionen einen ähnlichen Effekt haben könnte wie bei Surprenant (2001) die Unterscheidung von Tonfolgen mit wechselnder Position der veränderten Komponente: Es wäre möglich, dass sich mit steigender Dauer des ISI Inkremente zu Beginn eines Reizes besser erkennen lassen als bei kürzerem ISI.

7.5 Aspekte möglicher weiterführender Untersuchungen

7.5.1 Offene Fragen für psychophysische Untersuchungen

Die vorgestellten Experimente können als erste Untersuchungen der Verarbeitung von Lautheitsprofilen angesehen werden, mit denen einige Phänomene, die aus der Erforschung von Tonmustern bereits bekannt sind (z.B. PTD-Regel, Kidd & Watson, 1992; Distinctiveness-Modelle, Surprenant, 2001) auf ihre Gültigkeit für die Unterscheidung von Lautheitsänderungen hin überprüft werden können. Insbesondere Experiment 5 in dieser Arbeit hat gezeigt, dass durchaus Abweichungen zwischen Tonmustern und Lautheitsmustern zu beobachten sind. Die PTD-Regel greift bei Lautheitsmustern nicht für alle Segmentdauern. Somit muss davon ausgegangen werden, dass unterschiedliche Mechanismen mit unterschiedlichen Gesetzmäßigkeiten für die Verarbeitung von Tonhöhenänderungen und Lautheitsänderungen verantwortlich sind und die Ergebnisse aus Untersuchungen des Einflusses der zeitlichen Struktur bei Tonmustern nicht ohne weiteres auf Lautheitsmuster zu übertragen sind. Im Hinblick darauf bleiben noch einige offene Fragen.

So enthielt Experiment 5 eine erste, aber noch nicht sehr systematische Untersuchung des Einflusses der Gesamtreizdauer, der Segmentanzahl und damit z.T. auch des Einflusses des relativen Anteils einer Reizkomponente an der Gesamtreizdauer ("proportion of the total duration"; PTD). Es zeigte sich, dass die Ergebnisse bei Lautheitsprofilen bei kurzen Segmentdauern (20 ms) von den mit Tonmustern gefundenen abweichen (Kidd & Watson, 1992; Surprenant, 2001). Welchen Regeln diese Abweichung folgt, müsste nun aber noch genauer untersucht werden. Hierzu müssten, wie in vergleichbaren Untersuchungen mit Tonmustern, insbesondere der Anteil der Zielkomponente an der Gesamtreizdauer systematisch variiert werden. Dies war im vorliegenden Experiment 5 noch nicht der Fall. Denn PTD war hier, wie im Experiment von Watson et al. (1990), noch mit der Gesamtreizdauer konfundiert. Sie war immer gleich der Gesamtreizdauer geteilt durch die Segmentanzahl.

Weitere offene Fragen ergeben sich im Hinblick auf Phänomene, die bei Tonmustern

unter den Begriffen “stimulus uncertainty“ und “target uncertainty“ bereits wesentlich ausführlicher untersucht wurden. Hierunter versteht man u.a. das Verhältnis zwischen der Streuung der Zielkomponente und der Kontextkomponenten, sowie auch die Unsicherheit der Probanden, an welcher Position sich die Zielkomponente befinden würde (Watson et al., 1975, 1976; Watson & Kelly, 1981; Lutfi, 1992).

Hier wären eine Reihe von Folgeuntersuchungen möglich. Zum einen steht noch aus, die Streuung der Pegelfluktuationen zu manipulieren. Berg (1990) bot Frequenzverteilungen (zufällige Melodien) dar und variierte die Streuung und damit die Reliabilität einzelner Reizkomponenten für die Lösung. Er prüfte damit, ob Versuchspersonen ihre Gewichtsmuster an die Reliabilität einzelner Komponenten anpassen konnten. Er zeigte, dass es Versuchspersonen z.T. gelang, höhere Gewichte auf reliablere Reizkomponenten zu setzen, dies war aber nicht unabhängig von Faktoren wie Reizdauer (Präsentationsrate) und Intensität. In den in dieser Arbeit vorgestellten Experimenten war die Streuung in allen durchgeführten Experimenten auf $\sigma = 2$ dB gesetzt. Bessere Klarheit über die Mechanismen der Unterscheidung von Lautheitsprofilen wird man aber nur erlangen, wenn auch der Einfluss dieser Streuung systematisch untersucht wird. Ein interessantes Ergebnis stammt in diesem Zusammenhang von Lutfi (1992), der in einer Aufgabe zur Lautheitsunterscheidung das Verhältnis von Zielkomponentenstreuung zu Kontextkomponentenstreuung variiert hat. Es zeigte sich ein systematischer Zusammenhang dieses Verhältnisses mit der Unterscheidungsleistung der Probanden. Je größer dieses Verhältnis, desto besser die Diskrimination. D.h., Varianz der Kontextkomponenten wirkt sich dann besonders störend auf die Entdeckung einer Veränderung in einer Zielkomponente aus, wenn die Varianz der Zielkomponente niedrig ist. Es wurde in diesem Experiment jedoch nur *eine* Segmentdauer (30 ms) dargeboten. Es wäre daher interessant, den Zusammenhang zwischen Segmentdauer und Streuung der Pegelinformation in den Segmenten systematisch zu untersuchen.

Eine weitere Variante betrifft das Wissen der Versuchspersonen um die zeitliche Position des Inkrements. In den vorgestellten Experimenten waren die Teilnehmer immer genau darüber informiert, an welcher zeitlichen Position im Reiz die Zielkomponente zu erwarten war. Watson et al. (1975) zeigten zwar bei Tonmustern, dass die Unsicherheit über die Position der Veränderung im Reiz keinen entscheidenden Einfluss auf Unterschiedsschwellen hatte. Es wäre aber dennoch interessant zu untersuchen, ob die Unterscheidung von Lautheitsmustern ähnlichen Gesetzmäßigkeiten folgt.

7.5.2 Untersuchungen mittels ereigniskorrelierter Potentiale - Hinweise auf die Verarbeitung früher Reizelemente?

Interessante Fragestellungen ergäben sich auch für die Untersuchung der Unterscheidung von Lautheitsprofilen mittels ereigniskorrelierter Potentiale. Verschiedene Befunde haben gezeigt, dass z.B. die Auslösung einer "mismatch negativity" (MMN) durch einen abweichenden Reiz in einer regelmäßigen Folge von Reizen stark korreliert mit der Fähigkeit einer Versuchsperson, diese Abweichung zu entdecken (siehe Näätänen & Winkler, 1999; Winkler et al., 1997). Im übrigen zeigte die Untersuchung von Yabe et al. (2001a), dass Auslassungen von Einzelkomponenten von 36 ms Dauer innerhalb eines 170 ms langen Reizes jeweils eine MMN auslösten, und zwar sequenziell verzögert, je nachdem an welcher Stelle die Auslassung positioniert war. Mit Lautheitsprofilen wäre demnach eine Untersuchung mit EEG-Messung denkbar, bei der Versuchspersonen als Standard eine Folge von Lautheitsprofilen mit einem Inkrement an einer bestimmten Position dargeboten bekommen, die von unregelmäßig auftauchenden "abweichenden Lautheitsprofilen" unterbrochen wird, wobei die Abweichung in einer Verschiebung der Inkrementposition besteht. Es ließe sich damit testen, 1) ob in diesem Paradigma überhaupt eine MMN ausgelöst wird, 2) wenn ja, in welcher zeitlichen Distanz ein Inkrement im abweichenden Lautheitsprofil positioniert sein muss, damit eine MMN ausgelöst wird und ob sich 3) Veränderungen in den MMN-Parametern (Latenz, Amplitude) ergeben, wenn die Position des Inkrements oder dessen Stärke verändert wird, die mit den Verhaltensdaten (z.B. Unterschiedsschwellen oder d' -Werten) korrelieren. Auf diese Weise könnte die Genauigkeit der Unterscheidung von schnellen Lautheitsänderungen in Verhaltensexperimenten in Beziehung gesetzt werden zur Genauigkeit der Repräsentation dieser Reize (reflektiert durch die MMN), wie das auch schon für andere Reizparameter geschehen ist (siehe z.B. Näätänen & Alho, 1997; Amenedo & Escera, 2000). Auf diese Weise könnte auch genauer geklärt werden, ob Unterschiede in der Diskriminationsleistung von Probanden auf Unterschiede in der Genauigkeit der Reizrepräsentation selbst zurückzuführen sind, oder vielmehr andere Faktoren die Diskriminationsleistung bestimmen, die mit der *Nutzung* der repräsentierten Reizinformation zusammenhängen (Tervaniemi et al., 1999). In diesem Zusammenhang könnten auch Aufmerksamkeitseffekte ins Spiel kommen. Denn neuere Studien (Lange et al., 2003; Krämer et al., 2005) haben

gezeigt, dass nicht nur durch einen Ort, sondern auch durch einen Zeitpunkt, auf den Aufmerksamkeit gerichtet ist, die Verarbeitung beachteter Reize verbessert wird. Möglicherweise zeigen sich auch bei Untersuchungen mit Lautheitsprofilen ERP-Komponenten, die auf einen Aufmerksamkeitseffekt zurückzuführen sind. Es ist jedoch die Frage, ob es einem Hörer überhaupt möglich sein kann, Aufmerksamkeit bewusst auf einen bestimmten Zeitpunkt *innerhalb* eines so kurzen Intervalles wie den hier untersuchten Reizen mit einer Gesamtdauer von 100 bis 200 ms zu lenken, oder ob die Fähigkeit zur Unterscheidung dieser Lautheitsprofile nicht eher auf einer präattentiven, impliziten Analyse der Reizkomponenten innerhalb einer Reizrepräsentation beruht.

Eine offene Frage betrifft auch die schlechte Leistung bei der Entdeckung gerade sehr *früher* Inkremente in einem Reiz (siehe Experimente 4 und 5). Laut Näätänen (1992) werden Reizrepräsentationen auf der Basis eines gleitenden Zeitfensters von 150-200 ms gebildet ("sliding temporal window of integration"). Innerhalb dieses Zeitfensters werden Reizeigenschaften extrahiert ("feature analysis") und mit der Information über die zeitliche Abfolge der Reizeigenschaften kombiniert, so dass ein auditives Ereignis in der Zeit entsteht: "(...) auditory stimuli are represented by these traces as auditory events in time rather than by their static features only" (Näätänen & Winkler, 1999, S. 846). Von diesem Prozess wird angenommen, dass er automatisch abläuft und in etwa die 200 ms benötigt, die das gleitende Integrationsfenster lang ist. Verschiedene Untersuchungsergebnisse haben gezeigt, dass *innerhalb* dieses Zeitfensters späte Reizkomponenten die vollständige Verarbeitung früher Reizkomponenten behindern können. Dies zeigte sich sowohl in Verhaltensexperimenten zu "backward recognition masking" (z.B. Foyle & Watson, 1984; Massaro, 1970), als auch in Experimenten mit ereigniskorrelierten Potentialen (z.B. Schröger, 1997; Winkler & Näätänen, 1994). Näätänen (1990) beschreibt das Integrationsfenster als Basis für die 'psychologische Präsenz' der auditiven Wahrnehmung, die nicht als die unmittelbar präsente akustische Realität, sondern vielmehr als das Integrationsergebnis der jeweils gerade vergangenen 200 ms erfahren wird. Im Einklang damit stehen Befunde von Efron (1970a, 1970b), der festgestellt hatte, dass die Dauer von sehr kurzen Schallen stark überschätzt wird. Er maß eine minimale Dauer in der Wahrnehmung eines auditiven Ereignisses ("minimum perceptual duration") von 120-130 ms. Die wahrgenommene Dauer aller audi-

tiven Reize mit einer physikalischen Dauer von 130 ms oder kürzer würde demnach etwa 130 ms betragen.

Dennoch gibt es Hinweise darauf, dass innerhalb des Zeitfensters von etwa 170 ms Änderungen durchaus erkannt werden können und eine Abweichung von einem Standard auch durchaus MMN auslösen kann. Dies zeigen z.B. die Untersuchungen von Yabe et al. (1997, 2001a).

Auch die Untersuchung von Tervaniemi et al. (1999) liefert ein interessantes Ergebnis. Denn es zeigte sich hier, dass auch bei einer Aufgabe zur Bestimmung der Reihenfolge bei Tonpaaren durch Abweichungen von der Standardreihenfolge eine MMN ausgelöst werden kann. In dieser Untersuchung wurde mittels MMN-Messung das minimale Inter-Stimulus-Intervall (ISI) zwischen zwei Tonpulsen identifiziert, das notwendig ist, um die Reihenfolge dieser Töne präattentiv zu enkodieren. In einem ersten Experiment waren die Tonpulse 20 ms lang und es wurden Inter-Stimulus-Intervalle von 0, 10, 30 und 90 ms untersucht. Es zeigte sich, dass in diesem Experiment beim Umkehren der Reihenfolge bei jeder ISI-Länge eine MMN ausgelöst wurde. Dieses Ergebnis zeigt, dass Probanden präattentiv die Reihenfolge von zwei Tönen unterschiedlicher Frequenz und einer Dauer von je 20 ms enkodieren können. Dies gelingt sogar, wenn die beiden Töne unmittelbar aufeinander folgen. Die Amplitude und Latenz der MMN änderten sich nicht signifikant mit zunehmendem ISI. Das deutet darauf hin, dass ein längeres Intervall zwischen den beiden Tönen die Enkodierung der Reihenfolge nicht weiter erleichtert. In einem zweiten Experiment wurden Töne von 5 ms Dauer verwendet und ISIs von 0, 15, 45, 95 und 245 ms untersucht. In diesem Experiment löste nur ein ISI von 245 ms eine MMN bei einer Umkehrung der Reihenfolge der beiden Töne aus. Dies weist darauf hin, dass es bei sehr kurzen Tönen nicht gelingt, die Reihenfolge präattentiv zu enkodieren, wenn sie zeitlich sehr nahe beieinander liegen. Das kann auch damit begründet werden, dass die Töne bei einer Dauer von nur 5 ms eine reduzierte Tonhaltigkeit aufwiesen und damit eher wie Klicks klangen. Es zeigen sich aber in dieser Untersuchung durchaus auch individuelle Unterschiede in der präattentiven Enkodierung.

Die Messung ereigniskorrelierter Potentiale bei der Unterscheidung von Lautheitsprofilen, wie sie in der vorliegenden Arbeit verwendet wurden, könnte demnach interessante neue Einblicke in die Verarbeitungsprozesse von Lautheitsänderungen im Millisekundenbereich liefern. Insbesondere ergeben sich möglicherweise Hinweise auf die

Ursache der Schwierigkeit, gerade sehr frühe Reizkomponenten der Aufgabe gemäß zu verarbeiten. Phänomene wie “informational masking“ oder “backward recognition masking“ durch nachfolgende Segmente können die Ergebnisse der Experimente 4 und 5 alleine nicht erklären. Denn weshalb resultierten in Experiment 5 für ein Inkrement in der 3-Segmente-Bedingung bei 20 ms kurzen Segmenten so hohe Unterschiedsschwellen, obgleich nach dem Inkrement nur noch ein Segment folgte, das das Inkrement maskieren konnte?

7.6 Schlussfolgerungen

Es wurde in dieser Arbeit gezeigt, dass Versuchspersonen schnelle Lautheitsänderungen im Millisekundenbereich erstaunlich gut wahrnehmen können, d.h. Lautheitsmuster gut identifizieren und unterscheiden können. Durch die Gewichtungsmethode war es möglich, Einblicke in die molekulare Struktur von Entscheidungen zu gewinnen, obwohl Versuchspersonen nur ein globales Urteil über einen Reiz abgeben mussten. Dadurch wurde sichtbar, dass Hörer in der Lage sind, Einzelsegmente von nur 10 ms Dauer zeitlich präzise und selektiv zu gewichten, wenn eine Aufgabe es erfordert. Das zeitliche Auflösungsvermögen im Hinblick auf die Analyse von Pegelinformation in kurzen Segmenten ist daher sehr fein, und die Reizrepräsentation, die die zeitliche Struktur enthalten soll (Näätänen & Winkler, 1999), erweist sich als so flexibel einsetzbar bzw. verwertbar, dass sich sogar komplexere Aufgaben wie die Unterscheidung von Lautheitsmustern nach ihrer Form vollziehen lassen.

Allerdings zeigt sich eine gewisse Schwäche bei der Unterscheidung von Lautheitsprofilen, wenn die interessierende Pegelinformation sehr früh im Reiz auftaucht (erste 100 ms). Die Leistung bei der Entdeckung von Inkrementen auf frühen zeitlichen Positionen verschlechtert sich deutlich gegenüber späten Positionen, auch wenn es nicht ganz unmöglich wird, solche Aufgaben zu lösen. Ein Grund könnte in “backward recognition masking“-Effekten liegen, jedoch sprechen die Gewichtungsfunktionen nicht für das Vorliegen dieses Phänomens. Denn auch bei frühen Inkrementpositionen zeigen sich starke Kontraste zwischen dem Gewicht für das Segment mit Intensitätsspitze und benachbarten Gewichten, auch wenn sich zeigt, dass stabilere Gewichtungsfunktionen resultieren, wenn das Inkrement später im Reiz positioniert ist. Diese Beobachtungen stehen im Einklang mit der These, dass die spätere Reizinformation innerhalb eines

Integrationsfensters von 150-200 ms stärker gewichtet wird (z.B. Zwislocki, 1960, 1969). Diese implizite "Strategie" des auditiven Systems kann als durchaus sinnvoll betrachtet werden, denn die zuletzt eingegangene Information wird meist auch die wichtigste oder wichtigere Information für einen Organismus sein. Um bei der "Beobachtung" der Umwelt ständig "auf dem Laufenden" zu bleiben, muss das auditive System sich daher eher auf gerade vergangene Reizeigenschaften stützen, als auf länger zurückliegende, wenn Verarbeitungskapazitäten begrenzt sind.

Die individuellen Unterschiede zwischen Versuchspersonen, die sich auch besonders in Gewichtsfunktionen zeigen, weisen darauf hin, dass nicht rein periphere sensorische Mechanismen für die Verarbeitung von Lautheitsänderungen in komplexen Schallen verantwortlich sein können, sondern zentrale Verarbeitungsstufen beteiligt sein müssen. Eine offene Frage ist noch, wodurch individuelle Unterschiede in den dargebotenen Aufgaben auftreten. Suboptimale Gewichtungsstrategien können nicht alle Unterschiede in der Diskriminationsleistung von Versuchspersonen erklären. Berg (1990) verweist auf die Komponente "internal noise", in welchem sich alle "sonstigen" Faktoren im Verarbeitungsprozess widerspiegeln sollen. Genaueren Aufschluss darüber, an welcher Stelle im Verarbeitungsprozess diese Art von Faktoren wirken, könnten u.U. Messungen von ereigniskorrelierten Potentialen bei der Darbietung von Lautheitsprofilen liefern. So könnte die Messung einer "Mismatch Negativity" (MMN) Hinweise auf die Genauigkeit der Enkodierung der Information in einer Reizrepräsentation geben und einen Vergleich mit Verhaltensdaten erlauben. Dadurch sollte es möglich sein, Mechanismen der Verarbeitung schneller Lautheitsänderungen im Millisekundenbereich noch präziser zu analysieren und die Komponenten von Entscheidungsprozessen bei der Unterscheidung von Lautheitsprofilen weiter zu entschlüsseln.

Literatur

- Alho, K., Lavikainen, J., Reinikainen, K., Sams, M. & Näätänen, R. (1990). Event-Related Brain Potentials in Selective Listening to Frequent and Rare Stimuli. *Psychophysiology*, **27** (1), 73-86.
- Alho, K., Sams, M., Paavilainen, P. Reinikainen, K. & Näätänen, R. (1989). Event-Related Brain Potentials Reflecting Processing of Relevant and Irrelevant Stimuli During Selective Listening. *Psychophysiology*, **26** (5), 514-528.
- Amenedo, E. & Escera, C. (2000). The accuracy of sound duration representation in the human brain determines the accuracy of behavioural perception. *European Journal of Neuroscience*, **12**, 2570-2574.
- Babkoff, H. & Sutton, S. (1963). Perception of temporal order and loudness judgments for dichotic clicks. *Journal of the Acoustical Society of America*, **35**, 574-577.
- Berg, B.G. (1989). Analysis of weights in multiple observation tasks. *Journal of the Acoustical Society of America*, **86**, 1743-1746.
- Berg, B.G. (1990). Observer efficiency and weights in a multiple observation task. *Journal of the Acoustical Society of America*, **88** (1), 149-158.
- Berg, B.G. (2004). A molecular description of profile analysis: Decision weights and internal noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, **115** (2), 822-829.
- Berg, B.G. & Green, D.M. (1990). Spectral weights in profile listening. *Journal of the Acoustical Society of America*, **88**, 758-766.

- Berg, B.G. & Green, D.M. (1992). Discrimination of Complex Spectra: Spectral Weights and Performance Efficiency. In Y. Cazals, L. Demany & K. Horner (Eds.) *Auditory Physiology and Perception*, pp. 373-379. Oxford: Pergamon Press.
- Broadbent, D.E. (1958). *Perception and communication*. London: Pergamon Press.
- Buus, S. (1999). Temporal integration and multiple looks, revisited: Weights as a function of time. *Journal of the Acoustical Society of America*, **105** (4), 2466-2475.
- Clément, S., Demany, L. & Semal, C. (1999). Memory for pitch versus memory for loudness. *Journal of the Acoustical Society of America*, **106** (5), 2805-2811.
- Coble, S.F. & Robinson, D.E. (1992). Discriminability of bursts of reproducible noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, **92** (5), 2630-2635.
- Cowan, N. (1984). On short and long auditory stores. *Psychological Bulletin*, **96**, 341-370.
- Cowan, N. (1995). *Attention and memory: An integrated framework*. New York: Oxford University Press.
- Cowan, N., Saults, J.S. & Nugent, L.D. (1997). The role of absolute and relative amounts of time in forgetting within immediate memory: The case of tone-pitch comparisons. *Psychonomic Bulletin & Review*, **4** (3), 393-397.
- Cowan, N., Winkler, I., Teder, W. & Näätänen, R. (1993). Memory prerequisites of the mismatch negativity in the auditory event-related potential (ERP). *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **19**, 909-921.
- Cullinan, W.L., Erdos, E., Schaefer, R. & Tekieli, M.E. (1977). Perception of temporal order of vowels and consonant-vowel syllables. *Journal of Speech and Hearing Research*, **20**, 742-751.
- Dau, T., Kollmeier, B. & Kohlrausch, A. (1997a). Modeling auditory processing of amplitude modulation: I. Detection and masking with narrowband carriers. *Journal of the Acoustical Society of America*, **102**, 2892-2905.

- Dau, T., Kollmeier, B. & Kohlrausch, A. (1997b). Modeling auditory processing of amplitude modulation: II. Spectral and temporal integration. *Journal of the Acoustical Society of America*, **102**, 2906-2919.
- Dau, T., Püschel, A. & Kohlrausch, A. (1996a). A quantitative model of the “effective” signal processing in the auditory system. I. Model structure. *Journal of the Acoustical Society of America*, **99**, 3615-3622.
- Dau, T., Püschel, A. & Kohlrausch, A. (1996b). A quantitative model of the “effective” signal processing in the auditory system. I. Simulations and measurements. *Journal of the Acoustical Society of America*, **99**, 3623-3631.
- de Boer, E. (1985). Auditory time constants. A paradox? In: A. Michelsen (Ed.), *Time Resolution in Auditory Systems*, 141-158. Berlin: Springer-Verlag.
- Durlach, N.I., Mason, C.R., Kidd, G., Arbogast, T.L., Colburn, H.S. & Shinn-Cunningham, B.G. (2003). Note on informational masking (L). *Journal of the Acoustical Society of America*, **113** (6), 2984-2987.
- Eddins, D.A. & Green, D.M. (1995). Temporal Integration and Temporal Resolution. In B.C.J. Moore (Hrsg.), *Hearing* (S. 207-242). San Diego: Academic Press.
- Efron, R. (1970a). The relationship between the duration of a stimulus and the duration of a perception. *Neuropsychologia*, **8**, 37-55.
- Efron, R. (1970b). The minimum duration of a perception. *Neuropsychologia*, **8**, 57-63.
- Ellermeier, W. (1996). Detectability of increments and decrements in spectral profiles. *Journal of the Acoustical Society of America*, **99**, 3119-3125.
- Ellermeier, W. & Faulhammer, G. (2000). Empirical evaluation of axioms fundamental to Steven’s ratio-scaling approach: I. Loudness production. *Perception & Psychophysics*, **62** (8), 1505-1511.
- Ellermeier, W. & Schrödl, S. (2000). Temporal weights in loudness summation. In C. Bonnet (Ed.), *Fechner Day 2000. Proceedings of the 16th annual meeting of*

- the International Society for Psychophysics* (S. 169-173). Strasbourg: Université Louis Pasteur.
- Fastl, H. (1987). How loud is a passing vehicle? In *Proceedings 1987 International Conference on Noise Control Engineering*. InterNoise 87 Beijing. Acoustical Society of China, Vol. II, S. 993-996.
- Fastl, H. (1991). Evaluation and measurement of perceived average loudness. In A. Schick, J. Hellbrück & R. Weber (Eds.), *Contributions to Psychological Acoustic. Results of the fifth Oldenburg symposium on psychological acoustics*, 205-216. Oldenburg: BIS.
- Fitzgibbons, P.J. (1983). Temporal gap detection in noise as a function of frequency, bandwidth, and level. *Journal of the Acoustical Society of America*, **74**, 67-72.
- Forrest, T.G. & Green, D.M. (1987). Detection of partially filled gaps in noise and the temporal modulation transfer function. *Journal of the Acoustical Society of America*, **82**, 1933-1943.
- Foyle, D.C. & Watson, C.S. (1984). Stimulus-based versus performance-based measurement of auditory backward recognition masking. *Perception & Psychophysics*, **36**, 515-522.
- Giard, M.H., Lavikainen, J., Reinikainen, K., Bertrand, O., Pernier, J. & Näätänen, R. (1995). Separate representation of stimulus frequency, intensity, and duration in auditory sensory memory: An event-related potential and dipole-model study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **7**, 133-143.
- Gilkey, R.H. & Robinson, D.E. (1986). Models of auditory masking: A molecular psychophysical approach. *Journal of the Acoustical Society of America*, **79**, 1499-1510.
- Glasberg, B.R., Moore, B.C.J. & Peters, R.W. (2001). The influence of external and internal noise on the detection of increments and decrements in the level of sinusoids. *Hearing Research*, **155**, 41-53.
- Green, D.M. (1960). Auditory detection of a noise signal. *Journal of the Acoustical Society of America*, **32**, 121-131.

- Green, D.M. (1973). Temporal acuity as a function of frequency. *Journal of the Acoustical Society of America*, **54**, 373-379.
- Green, D.M. (1985). Temporal factors in psychoacoustics. In: A. Michelsen (Ed.), *Time Resolution in Auditory Systems*, 122-140. Berlin: Springer-Verlag.
- Green, D.M. (1988). *Profile Analysis. Auditory Intensity Discrimination*. New York: Oxford U.P..
- Green, D.M. (1992). On the number of components in profile-analysis tasks. *Journal of the Acoustical Society of America*, **91**, 1616-1623.
- Green, D.M., Birdsall, T.G. & Tanner, W.P.J. (1957). Signal detection as a function of signal intensity and duration. *Journal of the Acoustical Society of America*, **29**, 523-531.
- Green, D.M. & Forrest, T.G. (1989). Temporal gaps in noise and sinusoids. *Journal of the Acoustical Society of America*, **86**, 961-970.
- Green, D.M. & Swets, J.A. (1966). *Signal Detection Theory and Psychophysics*. New York: Wiley.
- Hellbrück, J. & Ellermeier, W. (2004). *Hören. Physiologie, Psychologie und Pathologie*. Göttingen: Hogrefe.
- Hirsh, I.J. (1959). Auditory Perception of Temporal Order. *Journal of the Acoustical Society of America*, **31** (6), 759-767.
- Hirsh, I.J. & Watson, C.S. (1996). Auditory Psychophysics and Perception. *Annual Reviews in Psychology*, **47**, 461-484.
- Hughes, J.W. (1946). The threshold of audition for short periods of stimulation. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, **133**, 486-490.
- Jeffress, L.A. (1967). Stimulus-oriented approach to detection re-examined. *Journal of the Acoustical Society of America*, **41**, 480-488.
- Jeffress, L.A. (1968). Mathematical and electrical models of auditory detection. *Journal of the Acoustical Society of America*, **44**, 187-203.

- Kidd, G.R., Mason, C.R., Uchanski, R.M., Brantley, M.A. & Shah, P. (1991). Evaluation of simple models of auditory profile analysis using random reference spectra. *Journal of the Acoustical Society of America*, **90**, 1340-1354.
- Kidd, G.R. & Watson, C.S. (1992). The “proportion-of-the-total-duration rule“ for the discrimination of auditory patterns. *Journal of the Acoustical Society of America*, **92** (6), 3109-3118.
- Krafft, M. (1997). Der Ansatz der Logistischen Regression und seine Interpretation. *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, **67**(5/6), 625-642.
- Krämer, U., Lange, K. & Röder, B. (2005). Sowohl die Fokussierung der Aufmerksamkeit auf einen Zeitpunkt als auch auf eine Position im Raum führen zu einer Modulation der auditiven N1. In K.W. Lange, K.-H. Bäuml, M.W. Greenlee, M. Hammerl & A. Zimmer (Hrsg.), *Experimentelle Psychologie. Abstracts der 47. Tagung experimentell arbeitender Psychologen (TeaP)* (S. 113). Lengerich, Germany: Pabst.
- Krumbholz, K., Patterson, R.D., Nobbe, A. & Fastl, H. (2003). Microsecond temporal resolution in monaural hearing without spectral cues? *Journal of the Acoustical Society of America*, **113** (5), 2790-2800.
- Kuwano, S. (1996). Continuous judgment of temporally varying sounds. In H. Fastl, S. Kuwano & A. Schick (Hrsg.), *Recent trends in hearing research. Festschrift for Seichiro Namba* (S. 193-214). Universität Oldenburg: BIS.
- Kuwano, S. & Namba, S. (1985). Continuous judgment of level-fluctuating sounds and the relationship between overall loudness and instantaneous loudness. *Psychological Research*, **47**, 27-37.
- Lange, K., Rösler, F. & Röder, B. (2003). Early processing stages are modulated when auditory stimuli are presented at an attended moment in time: An event-related potential study. *Psychophysiology*, **40**, 806-817.
- Leek, M.R., Brown, M.E. & Dorman, M.F. (1991). Informational masking and auditory attention. *Perception & Psychophysics*, **50** (3), 205-214.

- Levänen, S., Ahonen, A., Hari, R., McEvoy, L. & Sams, M. (1996). Deviant auditory stimuli activate human left and right auditory cortex differently. *Cerebral Cortex*, **6**, 288-296.
- Levitt, H. (1971). Transformed up-down methods in psychoacoustics. *Journal of the Acoustical Society of America*, **49**, 467-477.
- Lotze, M., Wittmann, M., von Steinbüchel, N., Pöppel, E. & Roenneberg, T. (1999). Daily Rhythm of Temporal Resolution in the auditory system. *Cortex*, **35**, 89-100.
- Lutfi, R.A. (1990). Informational processing of complex sound. II. Cross-dimensional analysis. *Journal of the Acoustical Society of America*, **87**, 2141-2148.
- Lutfi, R.A. (1992). Informational processing of complex sound. III. Interference. *Journal of the Acoustical Society of America*, **91**, 3391-3401.
- Macmillan, N.A. & Creelman, C.D. (1991). *Detection theory: A user's guide*. New York: Cambridge University Press.
- Massaro, D.W. (1970). Retroactive interference in short-term recognition memory for pitch. *Journal of Experimental Psychology*, **83**, 32-39.
- McFarland, D.J. & Cacace, A.T. (1992). Aspects of Short-Term Acoustic Recognition Memory: Modality and Serial Position Effects. *Audiology*, **31**, 342-352.
- McFarland, D.J. & Cacace, A.T. (1995). Comparisons of memory for nonverbal auditory and visual sequential stimuli. *Psychological Research*, **57**, 80-87.
- McFarland, D.J., Cacace, A.T. & Setzen, G. (1998). Temporal-order discrimination for selected auditory and visual stimulus dimensions. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, **41**(2), 300-314.
- Menard, S. (1995). *Applied logistic regression analysis*. Thousand Oaks: Sage Publications.
- Miller, G.A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, **63**, 81-97.

- Moore, B.C.J. (1973). Frequency difference limens for short-duration tones. *Journal of the Acoustical Society of America*, **54**, 610-619.
- Moore, B.C.J. (1996). Masking in the human auditory system. In N. Gilchrist & C. Grewin (Eds.), *Collected papers on digital audio bit-rate reduction*, 9-19. New York: Audio Engineering Society.
- Moore, B.C.J. (1997). *An introduction to the psychology of hearing*. San Diego, CA: Academic Press.
- Moore, B.C.J. (2003). Temporal integration and context effects in hearing. *Journal of Phonetics*, **31**, 563-574.
- Moore, B.C.J. & Glasberg, B.R. (1988). Gap detection with sinusoids and noise in normal, impaired, and electrically stimulated ears. *Journal of the Acoustical Society of America*, **83**, 1093-1101.
- Munson, W.A. (1947). The growth of auditory sensation. *Journal of the Acoustical Society of America*, **19**, 584-591.
- Näätänen, R. (1982). Processing negativity: an evoked potential reflection of selective attention. *Psychological Bulletin*, **92** (3), 605-640.
- Näätänen, R. (1990). The role of attention in auditory information processing as revealed by event-related potentials and other brain measures of cognitive function. *Behavioral and Brain Sciences*, **13**, 201-288.
- Näätänen, R. (1992). *Attention and Brain Function*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Näätänen, R. & Alho, K. (1997). Mismatch negativity (MMN) - The measure for central sound representation accuracy. *Audiology & Neuro-Otology*, **2**, 341-353.
- Näätänen, R., Gaillard, A.W.K. & Mäntysalo, S. (1978). Early selective attention effect on evoked potential reinterpreted. *Acta Psychologica*, **42**, 313-329.
- Näätänen, R., Lehtokoski, A., Lennes, M., Cheour-Luhtanen, M., Huotilainen, M., Iivonen, A., Vainio, M., Alku, P., Ilmoniemi, R.J., Luuk, A., Allik, J., Sinkkonen, J. & Alho, K. (1997). Language-specific phoneme representations revealed by electric and magnetic brain responses. *Nature*, **385**, 432-434.

- Näätänen, R., Paavilainen, P., Alho, K., Reinikainen, K. & Sams, M. (1987). The mismatch negativity to intensity changes in an auditory stimulus sequence. In R. Johnson, Jr., J.W. Rohrbaugh & R. Parasuraman (Hrsg.), *Current trends in event-related potential research* (S. 125-131). Amsterdam: Elsevier.
- Näätänen, R., Tervaniemi, M., Sussman, E., Paavilainen, P. & Winkler, I. (2001). 'Primitive intelligence' in the auditory cortex. *Trends in Neuroscience*, **24** (5), 283-288.
- Näätänen, R. & Winkler, I. (1999). The Concept of Auditory Stimulus Representation in Cognitive Neuroscience. *Psychological Bulletin*, **125** (6), 826-859.
- Namba, S., Kuwano, S. & Kato, T. (1976). The loudness of sound with intensity increment. *Japanese Psychological Research*, **18** (2), 63-72.
- Novak, G.P., Ritter, W. & Vaughan, H.G. Jr. (1992). Mismatch detection and the latency of temporal judgments. *Psychophysiology*, **29**, 398-411.
- Oberfeld, D. & Plank, T. (2005). Temporal Weighting of Loudness: Effects of a Fade In. In M. Fruhmann & H. Fastl (Hrsg.). *Fortschritte der Akustik - DAGA 2005*, München.
- Paavilainen, P., Alho, K., Reinikainen, K., Sams, M. & Näätänen, R. (1991). Right-hemisphere dominance of different mismatch negativities. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **78**, 466-479.
- Pedersen, B. & Ellermeier, W. (2004). Individual differences in integrating loudness over time. Paper presented at the *Joint CFA/DAGA 2004 Congress*, March 22-25, Strasbourg, France.
- Penner, M.J. (1977). Detection of temporal gaps in noise as a measure of decay of auditory sensation. *Journal of the Acoustical Society of America*, **61**, 552-557.
- Plank, T. & Ellermeier, W. (2003). Discrimination of temporal loudness profiles. In Berglund, B. & Borg, E. (Eds.), *Fechner Day 2003. Proceedings of the Nineteenth Annual Meeting of the International Society for Psychophysics* (pp. 241-244). Stockholm: International Society for Psychophysics.

- Plank, T. & Ellermeier, W. (2004a). Discriminating temporal loudness patterns in the absence of overall level cues. *Proceedings of the Joint CFA/DAGA 2004 Congress* (pp. 397-398), 22.-25. März, Strasbourg, France.
- Plank, T. & Ellermeier, W. (2004b). Role of the number of sound segments in discriminating temporal loudness profiles. In Oliveira, A.M., Teixeira, M.P., Borges, G.F. & Ferro, M.J. (Eds.) *Fechner Day 2004. Proceedings of the Twentieth Annual Meeting of the International Society for Psychophysics* (pp. 501-505). Coimbra: International Society for Psychophysics.
- Plank, T. & Ellermeier, W. (2005). Zeitliche Lautheitsintegration diskreter Schaller Ereignisse. In K. W. Lange, K.-H. Bäuml, M. W. Greenlee, M. Hammerl, A. Zimmer (Hrsg.), *Experimentelle Psychologie. Beiträge zur 47. Tagung experimentell arbeitender Psychologen (TeaP)* (S. 156). Lengerich, Germany: Pabst.
- Plomp, R. & Bouman, M.A. (1959). Relation between hearing threshold and duration for tone pulses. *Journal of the Acoustical Society of America*, **31**, 749-758.
- Pollack, I. (1975). Auditory informational masking. *Journal of the Acoustical Society of America*, **57**, S5.
- Sadrulodabai, T., Sorkin, R.D. & Montgomery, D.A. (1993). Serial position effects in temporal pattern discrimination. *Journal of the Acoustical Society of America*, **93**(4), 2385-2386.
- Schlauch, R.S., DiGiovanni, J.J. & Ries, D.R. (1999). Cognitive limitations on auditory temporal resolution. *Association for Research in Otolaryngology Mid-Winter Meeting*, February 1999.
- Schrödl, S. (2001). *Experimentelle und statistische Analyse der Entstehung eines globalen Lautheitsurteils*. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Regensburg.
- Schröger, E. (1994). An event-related potential study of sensory representations of unfamiliar tonal patterns. *Psychophysiology*, **31**, 175-181.
- Schröger, E. (1997). On the detection of auditory deviations: A pre-attentive activation model. *Psychophysiology*, **34**, 245-257.

- Schröger, E., Tervaniemi, M., Wolff, C. & Näätänen, R. (1996). Preattentive periodicity detection in auditory patterns as governed by time and intensity information. *Cognitive Brain Research*, **4**, 145-148.
- Shailer, M.J. & Moore, B.C.J. (1985). Detection of temporal gaps in bandlimited noise: Effects of variations in bandwidth and signal-to-masker ratio. *Journal of the Acoustical Society of America*, **77**, 635-639.
- Shailer, M.J. & Moore, B.C.J. (1987). Gap detection and the auditory filter: Phase effects using sinusoidal stimuli. *Journal of the Acoustical Society of America*, **81**, 1110-1117.
- Southworth, C. & Berg, B.G. (1995). Multiple cues for the discrimination of narrow-band sounds. *Journal of the Acoustical Society of America*, **98**(5), 2486-2492.
- Stecker, G.C. & Hafter, E.R. (2000). An effect of temporal asymmetry on loudness. *Journal of the Acoustical Society of America*, **107**(6), 3358-3368.
- von Steinbüchel, N. (1998). Temporal ranges of central nervous processing: clinical evidence. *Experimental Brain Research*, **123**, 220-223.
- von Steinbüchel, N., Wittmann, M., Strasburger, H. & Szélag, E. (1999). Auditory temporal-order judgement is impaired in patients with cortical lesions in posterior regions of the left hemisphere. *Neuroscience Letters*, **264**, 168-171.
- Stellmack, M.A. & Viemeister, N.F. (2000). Observer weighting of monaural level information in a pair of tone pulses. *Journal of the Acoustical Society of America*, **107**(6), 3382-3393.
- Surprenant, A.M. (2001). Distinctiveness and serial position effects in tonal sequences. *Perception & Psychophysics*, **63** (4), 737-745.
- Susini, P. & McAdams, S. (2004). Temporal asymmetry in loudness. Paper presented at the *Joint CFA/DAGA 2004 Congress*, March 22-25, Strasbourg, France.
- Susini, P., McAdams, S. & Smith, B.K. (2002). Global and Continuous Loudness Estimation of Time-Varying Levels. *Acta Acustica united with Acustica*, **88** (4), 536-548.

- Swets, J.A., Shipley, E.F., McKey, M.J. & Green, D.M. (1959). Multiple observation of signals in noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, **31**, 514-521.
- Tabachnick, B.G. & Fidell, L.S. (2001). *Using Multivariate Statistics*. Boston: Allyn and Bacon.
- Tervaniemi, M., Radil, T., Radilova, J., Kujala, T. & Näätänen, R. (1999). Pre-Attentive Discriminability of Sound Order as a Function of Tone Duration and Interstimulus Interval: A Mismatch Negativity Study. *Audiology & Neuro-Otology*, **4**, 303-310.
- Thomas, I.B., Hill, P.B., Carroll, F.S. & Garcia, B. (1970). Temporal Order in the Perception of Vowels. *Journal of the Acoustical Society of America*, **48**, 1010-1013.
- Tiitinen, H., May, P., Reinikainen, K. & Näätänen, R. (1994). Attentive Novelty Detection in Humans is Governed by Pre-attentive Sensory Memory. *Nature*, **372**, 90-92.
- Van Noorden, L.P.A.S. (1975). *Temporal coherence in the perception of tone sequences*. Unpublished doctoral dissertation, Eindhoven University of Technology, The Netherlands.
- Viemeister, N.F. (1979). Temporal modulation transfer functions based upon modulation thresholds. *Journal of the Acoustical Society of America*, **66**, 1364-1380.
- Viemeister, N.F. & Wakefield, G.H. (1991). Temporal integration and multiple looks. *Journal of the Acoustical Society of America*, **90**, 858-865.
- Warren, R.M. (1974). Auditory temporal recognition by trained listeners. *Cognitive Psychology*, **6**, 237-256.
- Warren, R.M. (1999). *Auditory Perception. A new analysis and synthesis*. Cambridge: University Press.
- Warren, R.M. & Ackroff, J.M. (1976). Two types of auditory sequence perception. *Perception & Psychophysics*, **20**, 387-394.

- Warren, R.M. & Bashford, J.A. (1993). When acoustic sequences are not perceptual sequences: The global perception of auditory patterns. *Perception & Psychophysics*, **54** (1), 121-126.
- Watson, C.S. (1987). Uncertainty, informational masking and the capacity of immediate auditory memory. In W.A. Yost & C.S. Watson (Eds.), *Auditory Processing of Complex Sounds* (S. 267-277). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Watson, C.S., Foyle, D.C. & Kidd, G.R. (1990). Limits of auditory pattern discrimination for patterns with various durations and numbers of components. *Journal of the Acoustical Society of America*, **88** (6), 2631-2638.
- Watson, C.S. & Kelly, W.J. (1981). The role of stimulus uncertainty in the discriminability of auditory patterns. In D.J. Getty & J.H. Howard, Jr. (Hrsg.), *Auditory and Visual Pattern Recognition*, Hillsdale, New Jersey. Lawrence Erlbaum Associates, S. 37-59.
- Watson, C.S., Kelly, W.J. & Wroton, H.W. (1976). Factors in the discrimination of tonal patterns: II. Selective attention and learning under various levels of stimulus uncertainty. *Journal of the Acoustical Society of America*, **60** (5), 1176-1186.
- Watson, C.S., Wroton, H.W., Kelly, W.J. & Benbassat, C.A. (1975). Factors in the discrimination of tonal patterns. I. Component frequency, temporal position, and silent intervals. *Journal of the Acoustical Society of America*, **57** (5), 1175-1185.
- Weber, R. (1993). The continuous loudness judgment of temporally variable sounds with an “analog“ category procedure. In A. Schick, J. Hellbrück & R. Weber (Hrsg.), *Contributions to Psychological Acoustic. Results of the fifth Oldenburg symposium on psychological acoustics*. Oldenburg: BIS.
- Werner, B. (2002). *Temporal Effects in Loudness Integration*. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Regensburg.
- Winkler, I. & Näätänen, R. (1994). The effects of auditory backward masking on event-related brain potentials. In G. Karmos, V. Csépe, I. Czigler, M. Molnár & J. Desmedt (Hrsg.), *Perspectives of event-related potentials research* (S. 185-189). Amsterdam: Elsevier.

- Winkler, I. & Schröger, E. (1995). Neural representation for the temporal structure of sound patterns. *NeuroReport*, **6**, 690-694.
- Winkler, I., Tervaniemi, M. & Näätänen, R. (1997). Two separate codes for missing-fundamental pitch in the human auditory cortex. *Journal of the Acoustical Society of America*, **102** (2), 1072-1082.
- Yabe, H., Tervaniemi, M., Reinikainen, K. & Näätänen, R. (1997). Temporal window of integration revealed by MMN to sound omission. *NeuroReport*, **8**, 1971-1974.
- Yabe, H., Tervaniemi, M., Sinkkonen, J., Huotilainen, M., Ilmoniemi, R.J. & Näätänen, R. (1998). The temporal window of integration of auditory information in the human brain. *Psychophysiology*, **35**, 615-619.
- Yabe, H., Koyama, S., Kakigi, R., Gunji, A., Tervaniemi, M., Sato, Y. & Kaneko, S. (2001a). Automatic discriminative sensitivity inside temporal window of sensory memory as a function of time. *Cognitive Brain Research*, **12**, 39-48.
- Yabe, H., Winkler, I., Czigler, I., Koyama, S., Kakigi, R., Sutoh, T., Hiruma, T. & Kaneko, S. (2001b). Organizing sound sequences in the human brain: the interplay of auditory streaming and temporal integration. *Brain Research*, **897**, 222-227.
- Zera, J. & Green, D.M. (1993a). Detecting temporal onset and offset asynchrony in multi-component complexes. *Journal of the Acoustical Society of America*, **93**, 1038-1052.
- Zera, J. & Green, D.M. (1993b). Detecting temporal asynchrony with asynchronous standards. *Journal of the Acoustical Society of America*, **93**, 1571-1579.
- Zwislocki, J.J. (1960). Theory of temporal auditory summation. *Journal of the Acoustical Society of America*, **32**, 1046-1060.
- Zwislocki, J.J. (1969). Temporal summation of loudness: An analysis. *Journal of the Acoustical Society of America*, **46**, 431-441.

Anhang

Anhang A1 - Feedback-Problematik

In allen Experimenten wurden die Pegel der Reizsegmente zufällig und unabhängig voneinander aus Normalverteilungen gezogen. Es wurden jeweils eine “Signal“-Verteilung und eine “Noise“-Verteilung unterschieden. Die “Signal“-Verteilung zeichnete sich gegenüber der “Noise“-Verteilung jeweils durch einen höheren Mittelwert in einem oder mehreren Zeitsegmenten aus. Feedback wurde in allen Experimenten danach gegeben, aus welchen Verteilungen die Reizpegel *gezogen* worden waren. Da sich “Signal“- und “Noise“-Verteilungen teilweise überlappten, war es mit geringer Wahrscheinlichkeit möglich, dass die tatsächlich dargebotenen Pegel in einem “Signal“-Durchgang unter den korrespondierenden Pegeln der “Noise“-Verteilung lagen. In diesem Abschnitt sind die Wahrscheinlichkeiten, mit denen diese Fälle auftreten konnten, berechnet.

Experiment 1

In Experiment 1 wurden die Pegel, analog zu den Experimenten von Schrödl (2001), in jedem Durchgang aus einer “Signal“-Verteilung ($\mu = 61$ dB, $\sigma = 2$ dB) und einer “Noise“-Verteilung ($\mu = 60$ dB, $\sigma = 2$ dB) zufällig und unabhängig voneinander gezogen. Das Feedback gab in diesem Experiment immer an, in welchem Intervall sich der Reiz befunden hatte, der aus der “Signal“-Verteilung *gezogen* worden war. Da sich die beiden Verteilungen überlappen, war es aber möglich, dass der durchschnittliche Pegel eines Reizes, dessen Einzelpegel aus der “Signal“-Verteilung gezogen worden waren, unter dem durchschnittlichen Pegel des Vergleichsreizes lagen, dessen Einzelpegel aus der “Noise“-Verteilung gezogen worden waren.

Die Wahrscheinlichkeit, dass der Pegel des “Noise“-Reizes (x_{Ni}) in einem Reizsegment i in einem Durchgang über dem Pegel des “Signal“-Reizes (x_{Si}) liegt, lässt sich schreiben als $P[(x_{Si} - x_{Ni}) < 0]$. Die Variable $x_{Si} - x_{Ni}$ ist normalverteilt mit $\mu = 1$ dB und $\sigma = \sqrt{8}$ dB.

Daraus folgt:

$$P[(x_{Si} - x_{Ni}) < 0] = \Phi\left(\frac{0 - 1}{\sqrt{8}}\right) = \Phi(-0.3536) = 0.3618 \quad (7.10)$$

Das heißt, dass in einem Reizsegment ein Pegel aus der “Noise“-Verteilung mit einer Wahrscheinlichkeit von ca. 36 % über einem Pegel aus der “Signal“-Verteilung liegt.

Nun bestand ein Reizintervall aus insgesamt zehn Reizsegmenten. Die Wahrscheinlichkeit, dass der durchschnittliche Pegel eines Reizintervalls, dessen Pegel aus der “Signal“-Verteilung stammen, unter dem durchschnittlichen Pegel eines Reizintervalls liegen, dessen Pegel aus der “Noise“-Verteilung stammen, berechnet sich demnach als:

$$P\left[\left(0.1 \sum_{i=1}^{10} x_{Si} - 0.1 \sum_{i=1}^{10} x_{Ni}\right) < 0\right] = \Phi\left(\frac{0 - 1}{\sqrt{0.8}}\right) = \Phi(-1.118) = 0.1317 \quad (7.11)$$

Das heißt, der durchschnittliche Pegel eines Reizintervalls, das aus der “Signal“-Verteilung gezogen wurde, liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von ca. 13 % unter dem durchschnittlichen Pegel des Reizintervalls, das aus der “Noise“-Verteilung gezogen wurde.

Experimente 2, 4 und 5

Bei den Experimenten 2, 4 und 5 wurden Lautheitsprofile dargeboten, wobei der “Signal“-Reiz jeweils in nur einem Segment mit einer zusätzlichen Intensitätsspitze von 4 dB versehen wurde. Dies ist gleichbedeutend mit einem $\Delta\mu_S = 4$ dB in dem Segment, das die Intensitätsspitze enthielt.

Die Wahrscheinlichkeit, dass der Pegel der Inkrementkomponente in einem “Signal“-Reiz unter dem Pegel des Vergleichssegmentes im “Noise“-Reiz lag, berechnet sich

dann nach der Formel:

$$P[(x_S - x_N) < 0] = \Phi\left(\frac{0 - 4}{\sqrt{8}}\right) = \Phi(-1.4142) = 0.0786 \quad (7.12)$$

Das heißt, in diesen Fällen liegt die gesuchte Wahrscheinlichkeit bei etwa 7,86 %.

Experiment 3

In Experiment 3 wurden Intensitätsspitzen von 8 dB in der Bedingung “Segmentdauer 10 ms“ und von 5 dB in der Bedingung “Segmentdauer 20 ms“ verwendet. In dieser IIFC-Aufgabe war ein “Signal“-Reiz durch eine Intensitätsspitze auf dem 2. Segment definiert, ein “Noise“-Reiz durch eine Intensitätsspitze auf dem 9. Segment. Es interessiert hier die Wahrscheinlichkeit, dass in einem “Signal“-Reiz der Pegel des 2. Segments unter dem Pegel des 9. Segments lag, bzw. dass in einem “Noise“-Reiz der Pegel des 9. Segments unter dem Pegel des 2. Segments lag.

Für den Fall eines Inkrements von 8 dB in der Bedingung “Segmentdauer 10 ms“ ergibt sich dann:

$$P[(x_{S2} - x_{S9}) < 0] = P[(x_{N9} - x_{N2}) < 0] = \Phi\left(\frac{0 - 8}{\sqrt{8}}\right) = \Phi(-2.8284) = 0.0023 \quad (7.13)$$

Das heißt, die Wahrscheinlichkeit, dass der Pegel der jeweiligen Inkrementkomponente unter dem Pegel der Vergleichskomponente liegt, ist in diesem Fall etwa 0,23 %.

Im Fall eines Inkrements von 5 dB in der Bedingung “Segmentdauer 20 ms“ ist sie etwa 3,85 % , wie die folgende Berechnung zeigt:

$$P[(x_{S2} - x_{S9}) < 0] = P[(x_{N9} - x_{N2}) < 0] = \Phi\left(\frac{0 - 5}{\sqrt{8}}\right) = \Phi(-1.7678) = 0.0385 \quad (7.14)$$

Anhang A2 - Instruktionen

Im Folgenden sind die Versuchspersoneninstruktionen für die Experimente 1-5 dargestellt. Sie erfolgten jeweils in Abwandlung der von Schrödl (2001) verwendeten Instruktion.

Instruktion Experiment 1

Experiment zur Lautheitswahrnehmung

Liebe Versuchsperson!

Mit diesem Experiment wollen wir untersuchen, wie Versuchspersonen die Lautheit von Reizen wahrnehmen, die unregelmäßig im Pegel fluktuieren.

Im Folgenden werden Dir innerhalb von zwei Beobachtungsintervallen (gekennzeichnet durch das Aufleuchten der roten Leuchtdioden) nacheinander zwei Reize vorgespielt. Bei den Reizen handelt es sich um weißes Rauschen, von kleinen Pausen unterbrochen, dessen Intensität zufällig schwankt. Bei jedem Reizpaar stammt einer der beiden Reize aus einer Verteilung von höherer Durchschnittsintensität. Diesen Reiz sollst Du entdecken. Mit anderen Worten:

Deine Aufgabe ist zu entscheiden: Welcher der beiden Reize klingt insgesamt lauter; der erste oder der zweite?

Bitte gib die Antwort mit Hilfe der beiden Tasten an den Armlehnen des Stuhls ein:

1 (links) für "Der erste Reiz war lauter."

2 (rechts) für "Der zweite Reiz war lauter."

Nach der Antwort erhältst Du Feedback, d.h. das Aufleuchten einer der gelben Leuchtdioden zeigt Dir, in welchem Intervall tatsächlich der Reiz aus der Verteilung mit der höheren Durchschnittsintensität war.

Die Aufgabe ist oft sehr schwierig - je nach der zufälligen Auswahl der Intensitätsverläufe. Eine gewisse Anzahl von Fehlern ist unvermeidbar. Wenn Du Dir nicht sicher bist mit Deiner Antwort, überlege nicht zu lange, sondern versuche die Antwort zu geben, die Dir am ehesten richtig erscheint.

Ein Block (80 Durchgänge) dauert zwischen 5 und 7 Minuten. Danach folgt jeweils eine kurze Pause. Vielen Dank für's Mitmachen!

Instruktion Experiment 2

Experiment zur zeitlichen Profilanalyse von Schallen

Liebe Versuchsperson!

Mit diesem Experiment wollen wir untersuchen, wie Versuchspersonen Schalle, die in ihrer Intensität schwanken, nach ihrem zeitlichen Profil unterscheiden können.

Im Folgenden werden Dir innerhalb von zwei Beobachtungsintervallen (gekennzeichnet durch das Aufleuchten der roten Leuchtdioden) nacheinander zwei Reize vorgespielt. Bei den Reizen handelt es sich um weißes Rauschen, dessen Intensität zufällig schwankt.

Jeweils ein Reiz dieses Reizpaares enthält eine Intensitätsspitze etwa in der Mitte des Reizes (d.h. immer auf dem 6. von 10 Segmenten), der andere enthält diese Intensitätsspitze nicht. Du sollst erkennen, welcher der beiden Reize die Intensitätsspitze enthält. Mit anderen Worten:

Deine Aufgabe ist, zu entscheiden: Welcher der beiden Reize enthält die Intensitätsspitze; der erste oder der zweite?

Bitte gib die Antwort mit Hilfe der beiden Tasten an den Armlehnen des Stuhls ein:

- 1 (links) für "Der erste Reiz enthält die Intensitätsspitze"
- 2 (rechts) für "Der zweite Reiz enthält die Intensitätsspitze"

Nach der Antwort erhältst Du Feedback, d.h. das Aufleuchten einer der gelben Leuchtdioden zeigt Dir, welches Intervall tatsächlich die Intensitätsspitze enthielt.

Die Aufgabe ist oft schwierig - je nach der zufälligen Auswahl der Intensitätsverläufe. Auch die "Gesamtintensität" jedes der beiden Reizintervalle wird zufällig gewählt. Das heißt, welches der beiden Intervalle die Intensitätsspitze enthält, ist unabhängig von dessen jeweiliger Gesamtlautheit. Der insgesamt lautere Reiz muß nicht auch die Intensitätsspitze enthalten, nach der gesucht wird.

Eine gewisse Anzahl von Fehlern ist unvermeidbar. Wenn Du Dir nicht sicher bist mit Deiner Antwort, überlege nicht zu lange, sondern versuche, die Antwort zu geben, die Dir am ehesten richtig erscheint. Ein Block (100 Durchgänge) dauert ca. 10 (7) Minuten. Danach folgt jeweils eine kurze Pause. Vielen Dank für's Mitmachen!

Instruktion Experiment 3

Experiment to examine the Discrimination of Temporal Loudness Profiles

Dear subject!

With this experiment we want to examine how subjects are able to discriminate between short level-fluctuating sounds according to the form of their temporal profiles.

In the following you will hear short noise bursts consisting of broadband noise, which randomly fluctuate in level and contain an increment on specific positions of the sound. There are two different kinds of sounds: The "Signal" stimulus contains an increment near the beginning of the sound (on the 2nd of ten segments), the "Noise" stimulus contains an increment near the end of the sound (on the 9th of ten segments). After each sound you should decide, whether it was a "Signal" stimulus or a "Noise" stimulus that you've just heard.

In other words:

Your task is to decide: Did the sound contain an increment near the beginning (Signal) or near the end (Noise) of the interval?

Please respond by pushing one of the buttons

"Signal" (left) for "The increment was near the beginning"

"Noise" (right) for "The increment was near the end"

After you gave your response you'll get feedback: If the green light flashes up, your answer was correct. If the red light flashes up, you gave the wrong answer.

The task is often difficult - depending on the kind of loudness profile that was randomly chosen. A certain amount of errors is therefore inevitable. When you are not sure how to decide, don't reflect too long on your response. Just try to give the response that is most likely correct. One block (200 trials) takes about 6 minutes. Afterwards there will be a short break. Thanks very much for taking part in the experiment!

Instruktion Experiment 4

Experiment zur zeitlichen Profilanalyse von Schallen

Liebe Versuchsperson!

Mit diesem Experiment wollen wir untersuchen, wie Versuchspersonen Schalle, die in ihrer Intensität schwanken, nach ihrem zeitlichen Profil unterscheiden können.

Im Folgenden werden Dir innerhalb von zwei Beobachtungsintervallen (gekennzeichnet durch das Aufleuchten der roten Leuchtdioden) nacheinander zwei Reize vorgespielt. Bei den Reizen handelt es sich um weißes Rauschen, dessen Intensität zufällig schwankt. Jeweils ein Reiz dieses Reizpaares enthält eine Intensitätsspitze, der andere enthält diese Intensitätsspitze nicht. In jedem Block befindet sich die Intensitätsspitze an einer anderen Stelle des Reizes, mal mehr am Anfang, mal mehr in der Mitte, mal eher gegen Ende... Du sollst erkennen, welcher der beiden Reize die Intensitätsspitze enthält. Mit anderen Worten:

Deine Aufgabe ist, zu entscheiden: Welcher der beiden Reize enthält die Intensitätsspitze; der erste oder der zweite?

Bitte gib die Antwort mit Hilfe der beiden Tasten an den Armlehnen des Stuhls ein:

1 (links) für "Der erste Reiz enthält die Intensitätsspitze"

2 (rechts) für "Der zweite Reiz enthält die Intensitätsspitze"

Nach der Antwort erhältst Du Feedback, d.h. das Aufleuchten einer der gelben Leuchtdioden zeigt Dir, welches Intervall tatsächlich die Intensitätsspitze enthielt.

Die Aufgabe ist oft schwierig - je nach der zufälligen Auswahl der Intensitätsverläufe. Auch die "Gesamtintensität" jedes der beiden Reizintervalle wird zufällig gewählt. Das heißt, welches der beiden Intervalle die Intensitätsspitze enthält, ist unabhängig von dessen jeweiliger Gesamtlautheit. Der insgesamt lautere Reiz muß nicht auch die Intensitätsspitze enthalten, nach der gesucht wird.

Eine gewisse Anzahl von Fehlern ist unvermeidbar. Wenn Du Dir nicht sicher bist mit Deiner Antwort, überlege nicht zu lange, sondern versuche, die Antwort zu geben, die Dir am ehesten richtig erscheint. Ein Block (50 Durchgänge) dauert ca. 7 Minuten. Danach folgt jeweils eine kurze Pause. Vielen Dank für's Mitmachen!

Instruktion Experiment 5

Experiment zur zeitlichen Profilanalyse von Schallen

Liebe Versuchsperson!

Mit diesem Experiment wollen wir untersuchen, wie Versuchspersonen Schalle, die in ihrer Intensität schwanken, nach ihrem zeitlichen Profil unterscheiden können.

Im Folgenden werden Dir innerhalb von zwei Beobachtungsintervallen (gekennzeichnet durch das Aufleuchten der roten Leuchtdioden) nacheinander zwei Reize vorgespielt. Bei den Reizen handelt es sich um weißes Rauschen, dessen Intensität zufällig schwankt.

Jeweils ein Reiz dieses Reizpaares enthält eine Intensitätsspitze genau in der Mitte des Reizes, der andere enthält diese Intensitätsspitze nicht. Du sollst erkennen, welcher der beiden Reize die Intensitätsspitze enthält. Mit anderen Worten:

Deine Aufgabe ist, zu entscheiden: Welcher der beiden Reize enthält die Intensitätsspitze; der erste oder der zweite?

Bitte gib die Antwort mit Hilfe der beiden Tasten an den Armlehnen des Stuhls ein:

- 1 (links) für "Der erste Reiz enthält die Intensitätsspitze"
- 2 (rechts) für "Der zweite Reiz enthält die Intensitätsspitze"

Nach der Antwort erhältst Du Feedback, d.h. das Aufleuchten einer der gelben Leuchtdioden zeigt Dir, welches Intervall tatsächlich die Intensitätsspitze enthielt.

Die Aufgabe ist oft schwierig - je nach der zufälligen Auswahl der Intensitätsverläufe. Auch die "Gesamtintensität" jedes der beiden Reizintervalle wird zufällig gewählt. Das heißt, welches der beiden Intervalle die Intensitätsspitze enthält, ist unabhängig von dessen jeweiliger Gesamtlautheit. Der insgesamt lautere Reiz muß nicht auch die Intensitätsspitze enthalten, nach der gesucht wird.

Eine gewisse Anzahl von Fehlern ist unvermeidbar. Wenn Du Dir nicht sicher bist mit Deiner Antwort, überlege nicht zu lange, sondern versuche, die Antwort zu geben, die Dir am ehesten richtig erscheint. Ein Block dauert ca. 3 bis 5 Minuten. Danach folgt jeweils eine kurze Pause. Vielen Dank für's Mitmachen!

Anhang B1 - COSS-Analyse Experiment 1

Die folgenden Tabellen geben die Ergebnisse der COSS-Analyse (Schätzung psychometrischer Funktionen; Berg, 1989) für Experiment 1 wieder. Sie enthalten die folgenden Parameter:

- i : Zeitsegment
- a_i : normiertes Gewicht ($\sum a_i = 1$)
- μ : Mittelwert der angepassten kumulativen Normalverteilung
- σ : Standardabweichung der angepassten kumulativen Normalverteilung
- χ^2 : Parameter des χ^2 -Anpassungstests; kritischer Wert $\chi^2(19,0.95) = 30,1435$; Überschreitungen sind durch Fettdruck hervorgehoben.

Ergebnisse aus Bedingung “Pause 5 ms“

BA	i	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	0,3905	-1,233	6,286	20,82
	2	0,1665	-2,906	15,920	18,32
	3	0,0502	-9,571	53,521	14,92
	4	0,0631	-7,734	42,552	18,01
	5	0,0383	-12,547	70,296	18,3
	6	0,0685	-7,119	39,224	7,31
	7	0,0084	-57,3	320,1	18,97
	8	0,0246	-19,4	109,4	19,45
	9	0,0742	-6,535	36,171	12,19
	10	0,1158	-4,247	23,071	6,90
Sig. in Int. 2	1	0,3655	3,564	7,365	26,13
	2	0,1386	9,244	20,617	19,64
	3	0,1295	9,858	22,084	20,18
	4	0,0128	101,467	225,136	13,21
	5	0,0616	21,205	46,705	15,86
	6	0,0440	29,420	65,405	21,41
	7	0,0642	20,054	44,820	24,07
	8	0,0378	34,292	76,225	18,36
	9	0,1132	11,532	25,326	14,87
	10	0,0327	39,665	88,037	15,84

CA	i	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	0,0671	-12,921	23,266	27,11
	2	0,1886	-4,741	7,848	15,24
	3	0,1468	-6,020	10,342	13,19
	4	0,1291	-6,691	11,855	25,95
	5	0,0841	-10,440	18,488	9,08
	6	0,1180	-7,619	13,030	16,76
	7	0,0513	-17,416	30,506	10,89
	8	0,0487	-18,215	32,216	15,35
	9	0,0970	-9,180	15,971	10,17
	10	0,0692	-12,940	22,553	9,42
Sig. in Int. 2	1	0,1313	8,948	10,972	11,28
	2	0,1091	10,845	13,345	15,47
	3	0,1375	8,681	10,440	24,35
	4	0,1330	8,965	10,822	13,27
	5	0,1194	9,966	12,131	17,78
	6	0,0789	15,136	18,645	17,35
	7	0,0669	17,969	22,071	8,46
	8	0,1064	11,164	13,699	16,35
	9	0,0385	31,005	38,509	11,09
	10	0,0790	15,130	18,611	22,85

CR	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	0,1296	-6,850	14,834	23,18
	2	0,1402	-6,514	13,672	13,78
	3	0,1827	-5,094	10,334	14,17
	4	0,0725	-12,444	26,854	19,47
	5	0,0681	-13,253	28,605	18,22
	6	0,1079	-8,361	17,909	11,37
	7	0,0806	-11,164	24,120	10,6
	8	0,0740	-12,257	26,295	23,23
	9	0,0888	-10,090	21,855	24,77
	10	0,0556	-16,244	35,073	27,06
Sig. in Int. 2	1	0,1446	8,498	12,961	25,61
	2	0,1517	8,162	12,329	25,72
	3	0,0883	13,996	21,530	21,83
	4	0,1156	10,756	16,346	15,61
	5	0,0841	14,861	22,634	9,13
	6	0,0784	15,762	24,295	12,7
	7	0,0432	28,836	44,314	11,91
	8	0,0593	20,720	32,249	26,58
	9	0,0642	19,531	29,743	10,7
	10	0,1706	7,334	10,885	24,05
JO	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	0,1319	-2,991	15,623	11,62
	2	0,1694	-2,204	12,035	16,29
	3	0,1298	-2,919	15,887	13,86
	4	0,0918	-4,211	22,630	14,65
	5	0,1493	-2,521	13,737	14,86
	6	0,0856	-4,335	24,285	22,52
	7	0,0699	-5,439	29,826	22,81
	8	0,0654	-5,913	31,902	9,395
	9	0,0802	-4,743	25,952	12,076
	10	0,0267	-14,153	78,332	16,1
Sig. in Int. 2	1	0,1458	10,137	12,406	17,99
	2	0,1418	10,380	12,772	12,94
	3	0,1429	10,255	12,665	18,74
	4	0,1284	11,391	14,166	21,86
	5	0,1143	12,702	15,983	21,89
	6	0,0817	18,120	22,537	14,93
	7	0,0730	20,011	25,264	21,02
	8	0,0936	15,584	19,619	19,50
	9	0,0538	27,164	34,388	19,23
	10	0,0249	58,780	74,441	20,63
LK	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	0,0573	-13,907	28,006	22,13
	2	0,0865	-9,227	18,444	19,77
	3	0,1245	-6,501	12,640	28,78
	4	0,1475	-5,590	10,562	5,53
	5	0,1104	-7,167	14,335	18,158
	6	0,1449	-5,521	10,765	18,18
	7	0,1173	-6,844	13,461	14,6
	8	0,0743	-10,713	21,536	16,86
	9	0,0808	-9,926	19,768	18,52
	10	0,0564	-14,004	28,442	19,05
Sig. in Int. 2	1	0,0647	15,692	28,502	20,56
	2	0,1147	8,786	15,913	11,36
	3	0,1363	7,531	13,301	15,08
	4	0,1284	7,954	14,164	17,48
	5	0,0876	11,611	20,961	18,03
	6	0,0905	11,102	20,294	19,01
	7	0,1107	9,300	16,505	13,98
	8	0,1144	8,752	15,958	35,3
	9	0,1001	10,176	18,299	17,07
	10	0,0525	19,674	35,183	13,24

HA	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	0,1693	-1,994	12,486	14,86
	2	0,1576	-2,392	13,460	29,42
	3	0,1417	-2,399	15,033	16,29
	4	0,0883	-3,943	24,382	17,9
	5	0,0793	-4,576	27,176	14,18
	6	0,0183	-19,524	118,412	23,86
	7	0,0770	-4,566	28,016	12,68
	8	0,1053	-3,321	20,394	18,75
	9	0,0718	-5,038	30,056	15,75
	10	0,0914	-3,794	23,552	27,44
Sig. in Int. 2	1	0,1588	12,713	12,58	23,1
	2	0,0938	21,746	21,642	15,72
	3	0,1342	15,413	14,998	5,67
	4	0,2033	9,921	9,673	29,82
	5	0,0862	23,637	23,603	18,54
	6	0,0251	82,512	81,705	8,59
	7	0,0238	85,858	86,002	17,76
	8	0,0855	23,523	23,789	26,46
	9	0,1383	14,387	14,535	30,89
	10	0,0510	40,620	40,084	8,57
KA	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	0,0899	-7,685	20,191	15,43
	2	0,1493	-4,636	11,948	18,61
	3	0,1293	-5,510	13,896	9,81
	4	0,1223	-5,699	14,720	26,28
	5	0,0869	-7,935	20,905	12,25
	6	0,1013	-6,783	17,887	19,54
	7	0,1188	-5,969	15,176	15,24
	8	0,0625	-11,234	29,212	12,75
	9	0,0468	-14,999	39,038	13,07
	10	0,0928	-7,509	19,549	19,82
Sig. in Int. 2	1	0,0625	16,215	30,649	16,08
	2	0,1270	7,955	14,878	24,22
	3	0,1717	5,981	10,839	17,0
	4	0,1272	8,023	14,852	10,68
	5	0,0906	11,229	21,053	25,55
	6	0,1235	8,130	15,317	17,69
	7	0,0940	10,622	20,269	24,65
	8	0,0815	12,300	23,440	18,83
	9	0,0891	11,454	21,396	12,81
	10	0,0329	30,940	58,490	12,6
SB	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	0,0486	-24,197	29,379	16,8
	2	0,1028	-11,379	13,665	15,84
	3	0,0885	-13,385	15,966	19,17
	4	0,0908	-13,020	15,542	13,53
	5	0,1006	-11,724	13,971	22,77
	6	0,1077	-10,990	13,014	16,64
	7	0,1202	-9,794	11,595	17,34
	8	0,0814	-14,446	17,394	14,3
	9	0,1091	-10,875	12,837	5,12
	10	0,1504	-7,949	9,110	10,59
Sig. in Int. 2	1	0,0859	13,190	16,816	15,09
	2	0,0865	13,048	16,698	9,24
	3	0,1040	10,558	13,811	25,85
	4	0,0879	12,808	16,437	19,5
	5	0,0886	12,769	16,297	15,73
	6	0,0810	13,803	17,862	18,46
	7	0,0861	13,021	16,779	15,46
	8	0,1032	10,810	13,915	22,66
	9	0,1366	8,198	10,348	10,27
	10	0,1401	7,822	10,067	18,83

Ergebnisse aus Bedingung “Pause 40 ms“

BA	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	0,3144	-1,893	8,431	23,73
	2	0,1918	-3,372	14,298	18,06
	3	0,1730	-3,527	15,909	17,92
	4	0,0981	-6,388	28,349	12,27
	5	0,0449	-13,489	62,161	17,24
	6	0,0466	-13,041	59,926	23,29
	7	0,0560	-10,852	49,827	21,98
	8	0,0520	-11,523	53,637	36,04
	9	-0,005	121,3	559,3	28,88
	10	0,0280	-21,9	99,62	13,66
Sig. in Int. 2	1	0,2466	5,664	8,477	8,7
	2	0,1861	7,512	11,502	15,95
	3	0,1417	9,572	15,289	20,17
	4	0,0696	19,818	31,551	21,54
	5	0,0716	19,252	30,645	21,33
	6	0,0530	25,987	41,523	20,79
	7	0,0945	14,518	23,140	17,64
	8	0,0779	17,778	28,168	18,39
	9	0,0114	121,2	192,6	15,34
	10	0,0476	29,286	46,268	10,72
CR	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	0,1630	-5,889	10,707	15,23
	2	0,1567	-6,117	11,164	9,79
	3	0,1369	-6,844	12,878	34,24
	4	0,1602	-5,882	10,907	17,91
	5	0,0666	-14,417	26,965	14,02
	6	0,0722	-13,221	24,830	24,41
	7	0,0366	-25,921	49,190	21,78
	8	0,0535	-17,787	33,636	19,36
	9	0,0457	-20,742	39,355	27,05
	10	0,1087	-8,837	16,362	16,45
Sig. in Int. 2	1	0,1427	6,946	12,510	16,99
	2	0,1626	6,037	10,890	20,32
	3	0,1005	10,011	17,988	8,09
	4	0,0916	10,931	19,788	13,33
	5	0,0886	11,151	20,455	17,96
	6	0,1079	9,366	16,718	13,92
	7	0,0914	10,883	19,820	19,14
	8	0,0378	26,600	48,342	6,8
	9	0,0846	11,925	21,456	12,36
	10	0,0923	10,969	19,616	9,22

CA	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	0,1386	-4,659	9,343	18,72
	2	0,1465	-4,501	8,795	13,91
	3	0,1436	-4,538	8,988	28,64
	4	0,1251	-5,233	10,439	18,5
	5	0,1245	-5,195	10,496	13,53
	6	0,1007	-6,469	13,141	19,34
	7	0,0720	-9,131	18,570	19,94
	8	0,0671	-9,891	19,974	16,18
	9	0,0535	-12,449	25,126	9,5
	10	0,0285	-23,410	47,352	13,19
Sig. in Int. 2	1	0,1511	7,537	9,244	14,41
	2	0,1497	7,765	9,343	13,44
	3	0,1545	7,580	9,021	16,42
	4	0,0961	12,020	14,935	17,98
	5	0,1086	10,577	13,155	20,74
	6	0,1027	11,255	13,935	13,7
	7	0,0845	13,567	17,050	21,33
	8	0,0787	14,629	18,340	13,73
	9	0,0308	37,743	47,387	13,64
	10	0,0433	26,379	33,626	26,84
HA	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	0,2254	-1,504	9,562	22,64
	2	0,2306	-1,400	9,327	11,48
	3	0,1485	-2,055	14,870	25,8
	4	0,0940	-3,280	23,750	16,02
	5	0,1080	-2,819	20,614	12,64
	6	0,0207	-15,1	108,55	13,24
	7	0,0724	-4,196	30,912	12,7
	8	0,0325	-9,566	69,115	12,05
	9	0,0306	-10,340	73,481	17,1
	10	0,0374	-8,370	60,076	16,33
Sig. in Int. 2	1	0,2053	7,891	9,214	15,88
	2	0,1669	9,673	11,514	22,55
	3	0,1387	11,601	13,981	21,45
	4	0,1269	12,807	15,330	12,78
	5	0,0719	22,853	27,376	11,19
	6	0,0281	57,747	70,333	15,25
	7	0,0685	23,584	28,773	21,41
	8	0,0443	37,019	44,616	9,75
	9	0,0721	22,384	27,282	18,6
	10	0,0772	20,451	25,464	33,9

JO	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	0,2123	-2,975	9,952	12,8
	2	0,1786	-3,455	11,969	15,0
	3	0,1407	-4,333	15,357	13,15
	4	0,1238	-4,936	17,523	15,36
	5	0,0785	-7,782	27,830	17,68
	6	0,1106	-5,383	19,669	13,98
	7	0,0377	-16,390	58,157	16,35
	8	0,0380	-15,894	57,792	31,4
	9	0,0262	-23,435	83,908	17,06
	10	0,0537	-11,332	40,826	17,7
Sig. in Int. 2	1	0,1336	11,626	14,516	22,5
	2	0,1933	7,980	9,823	20,53
	3	0,1637	9,501	11,735	16,58
	4	0,1207	13,063	16,120	10,29
	5	0,0366	42,188	53,883	25,44
	6	0,1001	15,793	19,535	15,02
	7	0,0092	169,0	215,7	24,22
	8	0,1383	11,225	14,006	14,14
	9	0,0702	22,449	27,986	9,86
	10	0,0345	44,833	57,249	23,94
LK	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	0,1610	-5,981	11,784	33,39
	2	0,1898	-5,072	9,881	24,66
	3	0,2094	-4,647	8,874	19,29
	4	0,1004	-9,901	19,225	11,33
	5	0,0981	-10,009	19,680	16,08
	6	0,0699	-13,763	27,778	33,44
	7	0,0575	-17,007	33,824	17,17
	8	0,0267	-36,685	73,081	23,21
	9	0,0862	-11,446	22,452	14,8
	10	0,0011	-883,6	1750,3	14,0
Sig. in Int. 2	1	0,1558	5,197	13,272	19,16
	2	0,2185	3,694	9,255	14,44
	3	0,1308	6,090	15,915	20,71
	4	0,1146	6,964	18,240	22,660
	5	0,1499	5,383	13,825	31,74
	6	0,0716	11,180	29,410	17,6
	7	0,0173	45,731	122,287	26,61
	8	0,0394	20,474	53,544	14,28
	9	0,0443	18,007	47,612	16,28
	10	0,0578	13,838	36,489	14,65

KA	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	0,2029	-1,556	12,371	19,85
	2	0,2518	-1,320	9,827	11,78
	3	0,1647	-1,857	15,369	16,85
	4	0,1221	-2,519	20,903	13,56
	5	0,0876	-3,676	29,244	12,25
	6	0,0564	-5,710	45,547	16,38
	7	0,0367	-8,649	70,187	18,04
	8	-0,0123	26,118	208,7	6,97
	9	0,0827	-3,875	31,0	16,45
	10	0,0075	-42,92	342,6	8,48
Sig. in Int. 2	1	0,1553	13,864	18,915	12,43
	2	0,2032	10,719	14,333	17,56
	3	0,2107	10,255	13,807	14,85
	4	0,1153	18,714	25,592	13,77
	5	0,1057	20,438	27,960	14,76
	6	0,1351	15,895	21,791	14,8
	7	0,0570	38,214	52,045	8,23
	8	0,0039	-554,0	761,3	16,26
	9	0,0059	371,0	507,0	11,75
	10	0,0080	-271,5	372,6	14,97
SB	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	0,0894	-11,723	15,910	10,74
	2	0,1633	-6,338	8,378	23,61
	3	0,1761	-6,035	7,696	15,11
	4	0,0929	-11,230	15,283	16,1
	5	0,1090	-9,619	12,947	17,49
	6	0,1329	-7,904	10,489	10,46
	7	0,0600	-17,531	23,888	20,21
	8	0,0695	-15,066	20,570	18,12
	9	0,0602	-17,421	23,799	15,09
	10	0,0466	-22,470	30,829	11,56
Sig. in Int. 2	1	0,0980	9,795	14,530	16,73
	2	0,1484	6,481	9,357	11,3
	3	0,1500	6,366	9,250	21,6
	4	0,1084	8,828	13,078	16,9
	5	0,1076	8,808	13,180	20,61
	6	0,0902	10,606	15,833	18,34
	7	0,0748	12,813	19,176	16,72
	8	0,0584	16,307	24,663	17,31
	9	0,0968	9,796	14,722	14,03
	10	0,0674	14,124	21,345	21,51

Ergebnisse aus Bedingung “Pause 100 ms“

BA	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	0,1183	-2,255	16,968	13,89
	2	0,1108	-2,432	18,146	14,12
	3	0,0972	-2,798	20,745	19,22
	4	0,0779	-3,497	25,983	28,29
	5	0,1341	-1,824	14,911	15,43
	6	0,0595	-4,473	34,079	21,73
	7	0,1005	-2,722	20,063	12,83
	8	0,0364	-7,293	55,894	23,71
	9	0,1583	-1,670	12,542	10,92
	10	0,1069	-2,235	18,836	14,95
Sig. in Int. 2	1	0,1068	14,998	19,174	15,23
	2	0,1047	15,408	19,561	12,48
	3	0,0894	18,058	22,993	16,35
	4	0,0844	19,049	24,368	21,32
	5	0,1101	14,599	18,587	16,53
	6	0,0635	25,439	32,483	13,11
	7	0,0856	18,718	24,005	19,06
	8	0,0965	16,553	21,260	28,14
	9	0,1378	11,391	14,749	36,91
	10	0,1211	13,187	16,859	18,37
CR	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	0,1316	-6,386	17,094	7,98
	2	0,1332	-6,311	16,886	12,89
	3	0,1350	-6,094	16,653	19,75
	4	0,1064	-7,795	21,237	24,96
	5	0,1379	-5,913	16,297	20,29
	6	0,1120	-7,416	20,168	14,84
	7	0,0411	-20,450	55,473	8,18
	8	0,1067	-7,839	21,194	11,07
	9	0,0823	-10,081	27,547	12,69
	10	0,0139	-59,799	164,37	15,93
Sig. in Int. 2	1	0,1238	6,605	17,918	24,13
	2	0,0894	9,118	24,939	11,66
	3	0,1657	4,916	13,251	15,7
	4	0,1162	7,008	19,118	17,47
	5	0,1228	6,647	18,063	22,39
	6	0,0901	9,041	24,759	18,92
	7	0,1072	7,570	20,742	15,46
	8	0,1338	5,983	16,536	30,05
	9	0,0339	23,935	66,162	13,75
	10	0,0171	-47,905	131,232	10,79

CA	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	0,1819	-3,794	8,403	13,67
	2	0,1521	-4,727	10,222	17,58
	3	0,1443	-4,749	10,814	26,56
	4	0,1102	-6,259	14,355	18,3
	5	0,0915	-7,444	17,404	11,58
	6	0,0695	-9,838	23,027	21,8
	7	0,0819	-8,277	19,490	21,91
	8	0,0917	-7,385	17,362	18,64
	9	0,0450	-15,421	35,777	19,44
	10	0,0318	-21,431	50,594	21,09
Sig. in Int. 2	1	0,1853	7,193	9,649	25,39
	2	0,1336	9,933	13,654	19,04
	3	0,1695	7,980	10,622	12,4
	4	0,0678	19,532	27,342	22,73
	5	0,1529	8,821	11,853	14,53
	6	0,0833	16,004	22,187	18,26
	7	0,0263	50,800	70,912	20,19
	8	0,0868	15,545	21,268	14,13
	9	0,0452	29,373	41,172	25,81
	10	0,0494	26,767	37,635	25,7
HA	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	0,3220	-0,974	6,549	21,62
	2	0,1793	-1,594	12,495	21,03
	3	0,1578	-2,010	14,281	12,45
	4	0,0262	-11,552	87,539	20,53
	5	0,0516	-5,998	44,425	11,52
	6	0,0546	-5,465	42,001	16,38
	7	0,0710	-4,253	32,213	21,51
	8	-0,027	11,177	85,499	19,35
	9	0,1132	-2,588	20,097	25,36
	10	0,0510	-5,918	44,965	27,95
Sig. in Int. 2	1	0,2503	6,154	7,451	22,04
	2	0,1827	8,268	10,549	10,59
	3	0,1290	11,984	15,207	22,87
	4	0,0245	62,587	81,307	17,56
	5	0,0750	20,674	26,469	14,78
	6	0,0665	23,154	29,874	14,16
	7	0,0741	20,755	26,789	13,01
	8	0,0546	28,320	36,467	14,1
	9	0,0513	29,821	38,755	19,83
	10	0,0920	16,561	21,494	14,78

JO	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	0,2281	-2,184	8,333	13,38
	2	0,1521	-3,613	12,889	24,35
	3	0,1201	-4,575	16,478	11,3
	4	0,1115	-4,843	17,780	21,21
	5	0,1208	-4,525	16,375	12,88
	6	0,1427	-4,013	13,783	15,88
	7	-0,0024	233,1	850,1	21,27
	8	0,0626	-8,812	31,928	10,62
	9	0,0263	-20,760	76,164	24,92
	10	0,0381	-14,436	52,622	14,93
Sig. in Int. 2	1	0,1958	7,127	10,320	17,9
	2	0,1624	8,644	12,585	15,84
	3	0,0708	19,865	29,461	18,73
	4	0,0940	15,087	22,102	12,52
	5	0,0941	15,252	22,099	9,34
	6	0,0564	25,160	37,062	13,22
	7	0,0549	25,411	38,035	28,23
	8	0,1157	12,147	17,886	13,7
	9	0,1346	10,216	15,315	24,98
	10	0,0213	66,384	98,474	18,47
LK	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	0,2174	-2,937	9,674	12,5
	2	0,2003	-3,305	10,566	13,19
	3	0,1699	-3,834	12,580	8,29
	4	0,0791	-8,169	27,567	23,86
	5	0,0894	-7,150	24,343	29,3
	6	0,0697	-9,402	31,309	23,64
	7	0,0343	-18,934	63,846	9,63
	8	0,0304	-21,274	72,109	19,43
	9	0,0441	-14,769	49,606	14,42
	10	0,0653	-9,910	33,420	17,39
Sig. in Int. 2	1	0,1921	6,861	10,861	15,72
	2	0,2386	5,317	8,585	23,57
	3	0,1335	9,764	15,899	19,65
	4	0,0554	23,116	38,816	23,2
	5	0,1287	10,126	16,518	22,59
	6	0,0702	18,453	30,583	21,73
	7	0,0690	18,809	31,104	13,49
	8	0,0336	38,763	64,059	11,51
	9	0,0365	35,428	59,061	20,83
	10	0,0423	30,445	50,917	22,88

KA	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	0,1870	2,574	14,645	22,32
	2	0,1913	2,437	14,302	21,46
	3	0,1442	3,224	19,140	9,44
	4	0,1182	4,070	23,428	18,34
	5	0,1275	3,660	21,702	9,85
	6	0,1301	3,590	21,254	16,07
	7	0,0201	23,429	138,6	14,63
	8	0,0771	6,157	36,090	16,66
	9	0,0116	40,593	240,1	18,78
	10	-0,0071	-66,2	392,93	17,28
Sig. in Int. 2	1	0,1794	12,709	13,840	24,58
	2	0,2190	10,504	11,217	5,06
	3	0,1665	13,713	14,950	17,58
	4	0,1311	17,474	19,122	8,08
	5	0,0851	26,471	29,654	28,99
	6	0,0884	25,629	28,527	19,69
	7	0,0266	85,901	95,23	15,48
	8	0,0985	23,017	25,558	27,46
	9	0,0046	-495,86	551,6	18,23
	10	0,0009	-2583,5	2847,3	10,45
SB	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	0,1675	-4,395	9,601	8,94
	2	0,2032	-3,717	7,747	18,11
	3	0,1667	-4,367	9,646	18,1
	4	0,1043	-7,043	15,822	11,89
	5	0,0925	-7,714	17,902	19,32
	6	0,0612	-11,841	27,262	29,35
	7	0,0962	-7,565	17,198	24,07
	8	0,0166	-43,752	100,69	14,38
	9	0,0535	-13,537	31,21	17,95
	10	0,0383	-19,021	43,625	21,76
Sig. in Int. 2	1	0,2313	5,684	8,334	27,76
	2	0,1917	6,881	10,237	13,92
	3	0,1970	6,625	9,941	14,94
	4	0,0814	16,136	24,853	19,7
	5	0,1020	13,046	19,758	17,48
	6	0,0369	35,902	55,035	14,81
	7	0,0809	16,423	24,993	17,16
	8	0,0298	44,467	68,249	13,89
	9	0,0317	41,708	64,097	14,84
	10	0,0172	76,525	118,49	24,12

Gewichtsfunktionen, getrennt nach Bedingungen “Signal in Intervall 1“ und “Signal in Intervall 2“

Die Abbildungen 7.1, 7.2 und 7.3 zeigen die Gewichtsfunktionen in Experiment 1 für alle acht Versuchspersonen in jeder der drei Pausen-Bedingungen. Hierbei steht jeweils die grüne Funktion für die Gewichte, die aus den Durchgängen mit dem “Signal“ in Intervall 1 resultierten, die rote Funktion für die Gewichte aus den Durchgängen mit dem “Signal“ in Intervall 2. Die Gewichte sind so normiert, dass sie in der Summe 1 ergeben. Eine Gleichgewichtung aller Segmente würde in Gewichten von 0,1 resultieren, wie sie durch die graue Linie dargestellt sind. Die Graphiken zeigen, dass sich die Muster der beiden Funktionen für “Signal in Intervall 1“ und “Signal in Intervall 2“ innerhalb einer Versuchsperson relativ stark ähneln. Die Strategien jeder Versuchsperson innerhalb einer Bedingung blieben also relativ konsistent.

PAUSEN 5 MS

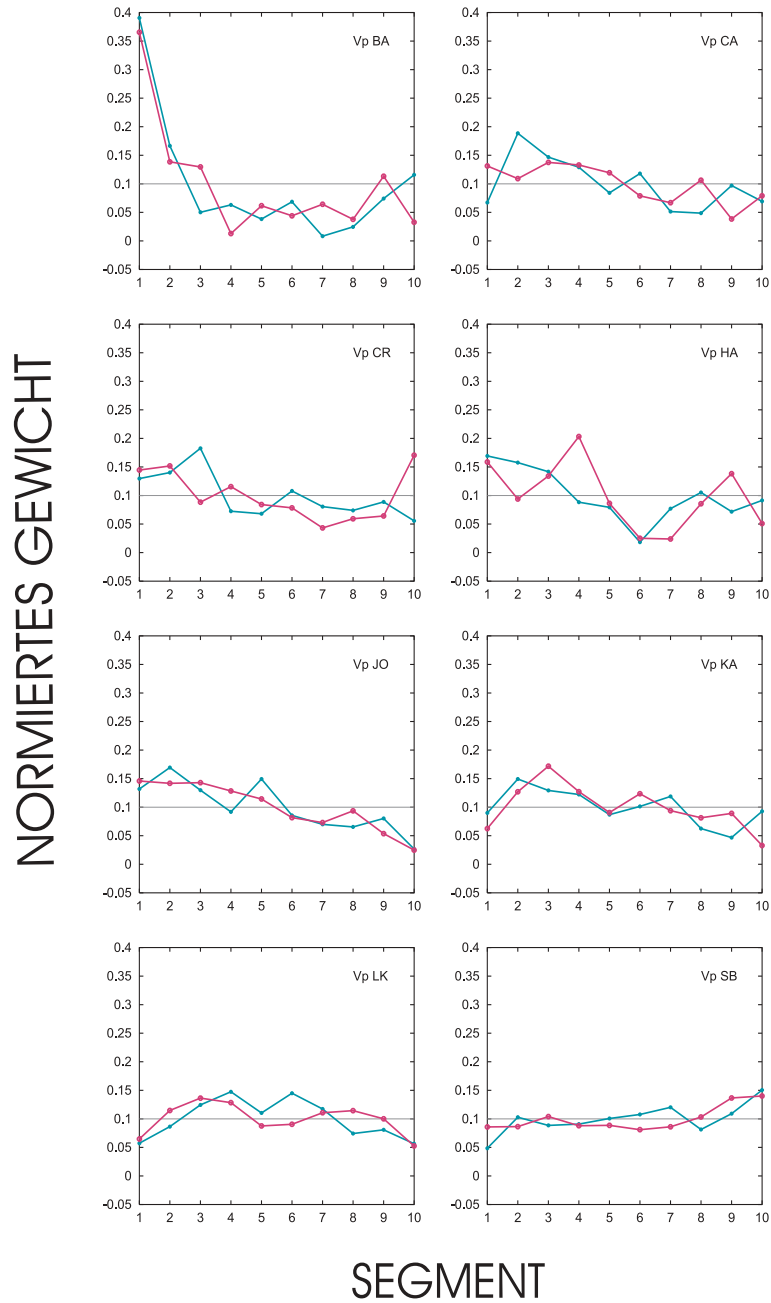


Abbildung 7.1: Gewichtsfunktionen für alle acht Versuchspersonen, Bedingung “Pausen 5 ms”. Die grüne Funktion gibt die Gewichte für die Fälle “Signal in Intervall 1” wieder, die rote Funktion die Gewichte für die Fälle “Signal in Intervall 2”. Die Gewichte sind so normiert, dass sie in der Summe 1 ergeben. Die graue Linie gibt die “ideale” Gewichtung wieder: 0,1 für jedes Segment.

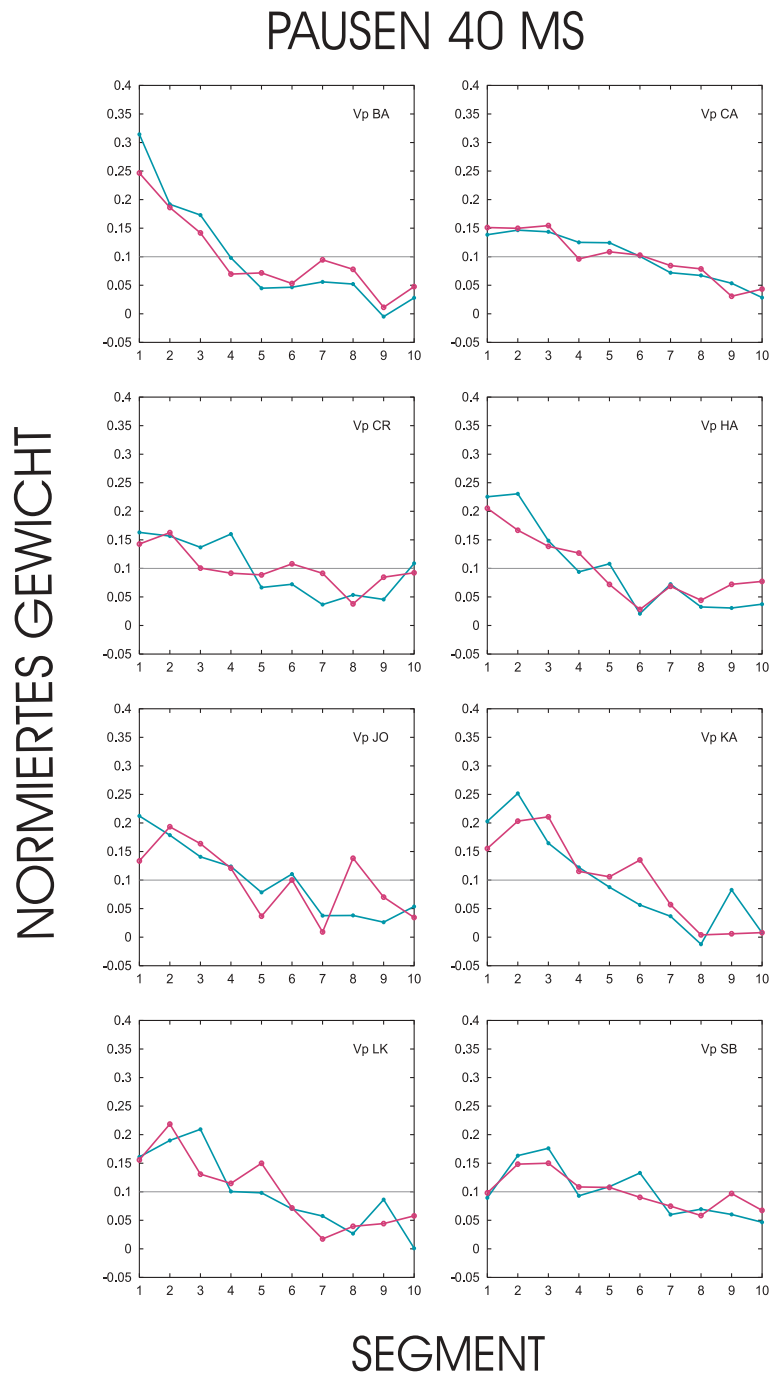


Abbildung 7.2: Gewichtsfunktionen für alle acht Versuchspersonen, Bedingung “Pausen 40 ms”. Die grüne Funktion gibt die Gewichte für die Fälle “Signal in Intervall 1” wieder, die rote Funktion die Gewichte für die Fälle “Signal in Intervall 2”.

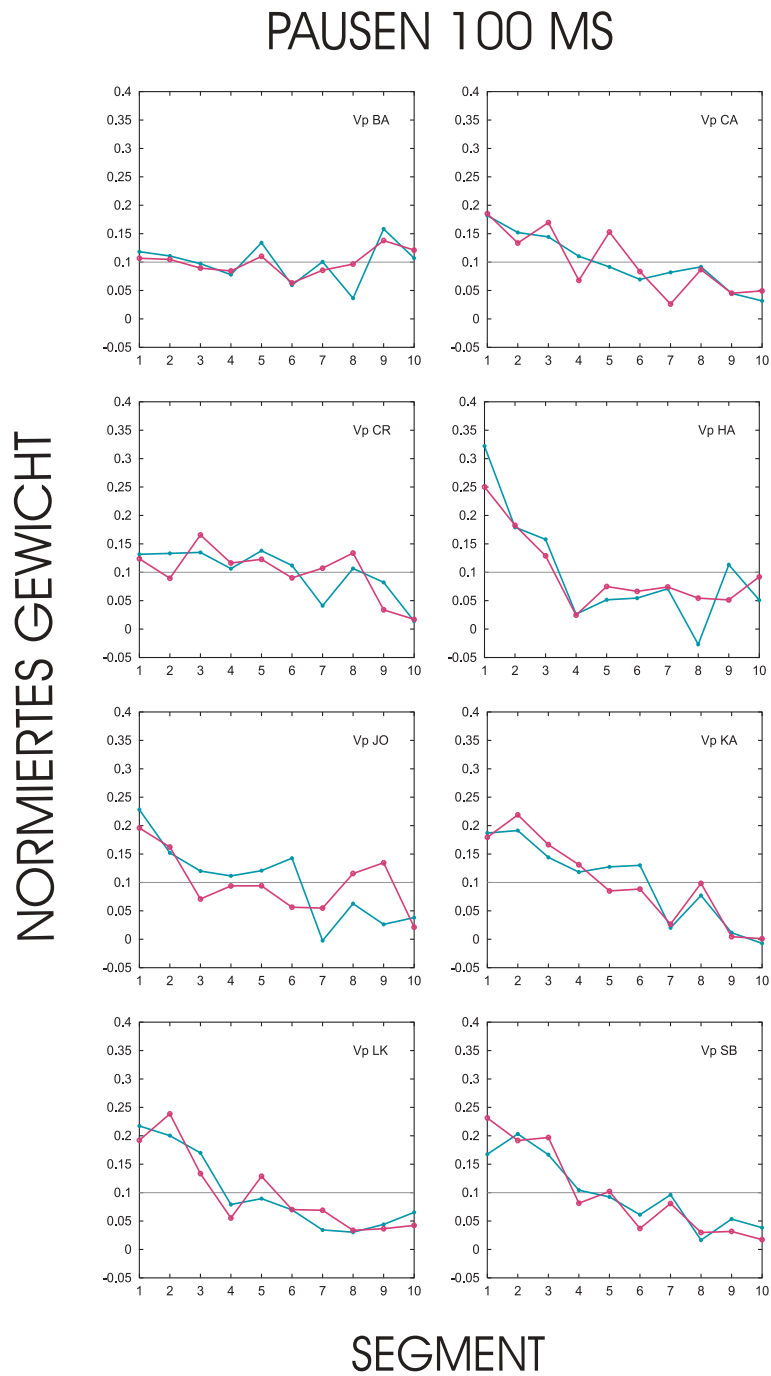


Abbildung 7.3: Gewichtsfunktionen für alle acht Versuchspersonen, Bedingung “Pausen 100 ms”. Die grüne Funktion gibt die Gewichte für die Fälle “Signal in Intervall 1” wieder, die rote Funktion die Gewichte für die Fälle “Signal in Intervall 2”.

Anhang B2 - COSS-Analyse Experiment 2

Die folgenden Tabellen geben die Ergebnisse der COSS-Analyse (Schätzung psychometrischer Funktionen; Berg, 1989) für Experiment 2 wieder. Sie enthalten die folgenden Parameter:

- i : Zeitsegment
- a_i : normiertes Gewicht ($a_6 = 1$)
- μ : Mittelwert der angepassten kumulativen Normalverteilung
- σ : Standardabweichung der angepassten kumulativen Normalverteilung
- χ^2 : Parameter des χ^2 -Anpassungstests; kritischer Wert $\chi^2(19,0.95) = 30,1435$; Überschreitungen sind durch Fettdruck hervorgehoben.

Ergebnisse aus Bedingung “Segmentdauer 20 ms“

AN	i	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	-0,038	96,8	325,3	5,2
	2	0,177	-20,74	70,05	16,9
	3	-0,18	20,0	67,94	16,4
	4	-0,333	10,94	37,14	26,6
	5	-0,464	7,83	26,55	20,1
	6	1	-3,67	12,1	19,4
	7	-0,45	8,02	27,4	26,8
	8	-0,023	122,46	415,5	20,5
	9	-0,058	62,79	212,7	16,7
	10	0,44	-8,24	27,9	23,4
Sig. in Int. 2	1	0,14	33,28	63,19	14,2
	2	0,074	66,43	127,65	24,74
	3	0,102	48,39	93,1	24,7
	4	-0,168	-29,480	56,47	17,76
	5	-0,53	-9,437	17,7	16,44
	6	1	5,02	9,04	12,72
	7	-0,602	-8,17	15,49	20,78
	8	-0,044	-113,7	216,23	8,66
	9	-0,09	-53,21	101,8	14,17
	10	0,40	12,27	23,34	16,41

CH	i	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	0,048	-69,12	231,38	12,66
	2	-0,145	22,83	76,54	15,33
	3	-0,342	9,523	32,35	19,77
	4	-0,001	5904,7	19935,9	26,32
	5	-0,449	7,31	24,58	12,52
	6	1	-3,25	10,75	21,54
	7	-0,277	11,85	40,05	21,99
	8	-0,033	100,02	334,2	10,12
	9	0,013	-264,2	882,38	9,31
	10	0,333	-9,87	33,22	17,44
Sig. in Int. 2	1	0,21	27,521	50,126	22,72
	2	-0,10	-55,08	101,48	32,39
	3	-0,32	-18,18	32,97	15,37
	4	-0,04	-132,9	241,06	12,51
	5	-0,46	-12,7	22,92	8,56
	6	1	5,9	10,23	21,63
	7	-0,34	-17,04	31,32	32,49
	8	0,09	64,81	117,63	14,48
	9	-0,15	-38,69	70,26	12,83
	10	0,14	40,81	73,86	10,13

KI	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	0,16	-12,6	64,7	13,5
	2	-0,03	60,0	309,7	32,1
	3	-0,04	50,4	260,7	32,1
	4	0,04	-52,2	266,9	16,7
	5	-0,54	3,8	19,0	16,9
	6	1	-2,01	9,9	16,6
	7	-0,22	9,2	47,3	22,1
	8	0,12	-17,3	88,2	9,5
	9	-0,21	9,62	50,2	25,8
	10	0,08	-24,3	125,1	19,0
Sig. in Int. 2	1	0,06	114,0	230,0	16,7
	2	-0,22	-32,0	64,5	16,1
	3	-0,24	-30,5	61,0	9,4
	4	-0,17	-44,0	84,3	12,5
	5	-0,66	-10,7	21,6	18,3
	6	1	7,001	14,1	22,3
	7	-0,22	-32,1	65,0	23,4
	8	0,07	99,1	199,8	16,6
	9	0,04	162,6	329,1	21,7
	10	0,62	11,6	23,3	24,3
MA	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	0,19	-45,6	97,4	10,9
	2	-0,10	85,3	182,7	18,3
	3	-0,14	62,7	134,3	17,8
	4	-0,68	13,0	27,6	16,9
	5	-1,27	6,9	14,4	15,7
	6	1	-8,4	18,4	39,7
	7	-1,22	7,0	14,9	23,6
	8	-0,56	15,7	33,3	14,1
	9	-0,07	132,2	281,9	12,4
	10	0,20	-43,6	93,0	12,4
Sig. in Int. 2	1	-0,02	-215,8	458,0	17,6
	2	0,01	485,1	1030,1	18,6
	3	0,002	1675,3	3552,9	16,7
	4	-0,25	-17,1	36,5	22,5
	5	-0,49	-8,7	18,2	29,9
	6	1	4,4	8,7	14,8
	7	-0,57	-7,4	15,7	21,9
	8	-0,18	-23,7	50,2	11,7
	9	-0,05	-78,8	168,5	25,4
	10	0,32	13,4	28,2	17,4
ST	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	0,29	-10,6	39,5	21,7
	2	-0,14	23,1	84,2	19,2
	3	-0,27	11,7	42,8	16,4
	4	-0,05	63,7	232,1	15,2
	5	-0,36	8,8	31,8	12,1
	6	1	-3,1	11,2	22,8
	7	-0,57	5,5	20,2	25,1
	8	0,05	-66,1	240,4	15,7
	9	-0,24	13,3	47,6	10,2
	10	-0,16	19,9	72,5	22,0
Sig. in Int. 2	1	0,17	33,1	57,6	23,6
	2	0,05	113,1	195,5	9,5
	3	-0,19	-29,3	51,2	26,1
	4	0,06	90,0	156,0	14,4
	5	-0,47	-12,0	20,9	15,4
	6	1	5,7	9,4	7,4
	7	-0,67	-8,4	14,5	16,7
	8	-0,02	-275,9	479,4	16,8
	9	-0,10	-56,5	98,2	18,7
	10	0,20	27,8	48,1	12,5

LI	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	0,06	-78,3	205,5	38,9
	2	0,01	-404,7	1048,2	18,0
	3	-0,26	18,2	47,6	32,0
	4	0,01	-362,7	946,9	31,1
	5	-0,41	11,7	30,2	17,5
	6	1	-4,9	12,2	18,6
	7	-0,56	8,6	22,1	11,9
	8	0,31	-15,2	39,3	10,1
	9	0,02	-287,4	739,9	8,4
	10	0,20	-24,3	62,9	21,0
Sig. in Int. 2	1	0,17	14,990	72,659	23,0
	2	-0,03	-96,2	464,0	26,4
	3	-0,14	-18,1	87,5	19,2
	4	0,19	13,954	67,6	27,98
	5	-0,32	-8,1	39,3	15,0
	6	1	2,7	12,3	11,9
	7	-0,49	-5,3	25,7	29,8
	8	-0,53	-5,0	23,8	18,0
	9	-0,11	-24,6	118,3	15,4
	10	0,29	9,2	44,0	16,4
MI	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	-0,25	20,5	47,2	17,6
	2	-0,10	54,2	125,0	18,3
	3	-0,34	15,1	34,650	21,7
	4	-0,20	26,1	60,1	20,3
	5	-0,68	7,6	17,3	20,5
	6	1	-5,0	11,6	36,5
	7	-0,30	17,5	40,6	31,1
	8	0,01	-26947	61870	11,0
	9	0,03	-178,0	415,3	36,2
	10	0,28	-18,6	42,8	13,9
Sig. in Int. 2	1	0,08	73,3	155,2	21,0
	2	-0,07	-84,5	178,5	18,1
	3	-0,27	-21,1	44,3	12,7
	4	-0,29	-19,1	40,3	19,0
	5	-0,44	-12,7	26,6	30,6
	6	1	5,4	11,4	30,9
	7	-0,39	-14,2	30,0	24,8
	8	0,28	20,0	42,4	19,7
	9	0,07	81,0	172,9	36,0
	10	0,40	13,9	29,2	18,9
TP	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	0,32	-7,3	33,2	29,6
	2	0,15	-15,6	70,9	28,9
	3	-0,09	27,3	123,7	19,1
	4	-0,26	9,0	40,9	17,7
	5	-0,58	4,1	18,2	14,5
	6	1	-2,4	10,4	16,2
	7	-0,52	4,6	20,6	19,0
	8	0,32	-7,6	33,6	24,8
	9	-0,25	9,7	43,2	18,7
	10	0,24	-10,2	45,5	11,6
Sig. in Int. 2	1	0,20	38,1	68,7	7,0
	2	0,01	891,2	1622,4	14,7
	3	-0,29	-25,8	47,1	17,6
	4	0,04	205,3	378,8	35,0
	5	-0,93	-8,1	14,4	16,7
	6	1	7,5	13,4	27,1
	7	-0,51	-14,8	26,6	6,8
	8	0,20	37,3	68,7	33,4
	9	-0,06	-131,3	238,7	13,5
	10	0,53	14,1	25,6	13,0

Ergebnisse aus Bedingung “Segmentdauer 100 ms“

AN	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	0,01	-425,9	784,3	22,9
	2	-0,06	96,0	-177,2	26,4
	3	-0,27	19,9	-36,3	16,3
	4	-0,23	23,8	-44,0	27,7
	5	-0,23	23,1	-42,8	35,5
	6	1	-5,4	9,5	20,5
	7	-0,05	114,7	-211,5	24,3
	8	-0,01	605,2	-1113	21,0
	9	0,20	-26,5	48,6	26,8
	10	0,18	-30,6	56,3	24,34
Sig. in Int. 2	1	0,03	109,1	194,3	11,9
	2	-0,06	-53,9	-96,2	13,7
	3	-0,19	-18,4	-32,6	15,0
	4	-0,17	-20,4	-36,5	17,1
	5	-0,49	-7,0	-12,3	22,3
	6	1	3,5	5,5	18,6
	7	-0,04	-80,2	-143,6	20,9
	8	-0,04	-81,0	-144,5	13,3
	9	0,04	87,3	157,0	26,9
	10	0,09	39,9	71,3	19,5
KI	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	-0,20	22,9	-41,9	25,2
	2	-0,08	60,4	-111,0	22,4
	3	-0,18	25,0	-45,8	20,7
	4	-0,41	11,2	-20,5	15,8
	5	-0,14	33,2	-60,7	19,8
	6	1	-4,5	8,0	22,9
	7	0,17	-26,8	48,7	17,2
	8	0,15	-30,0	54,6	8,7
	9	-0,03	173,7	-320,5	26,8
	10	0,05	-89,6	163,4	11,2
Sig. in Int. 2	1	-0,19	-20,3	-41,6	28,9
	2	-0,05	-71,4	-146,3	22,2
	3	-0,35	-11,0	-22,464	13,3
	4	-0,15	-26,8	-54,6	19,0
	5	-0,35	-11,2	-22,8	22,8
	6	1	3,9	7,4	19,0
	7	0,20	19,6	40,1	18,5
	8	0,02	192,2	394,0	22,5
	9	0,04	106,0	217,7	26,7
	10	0,02	180,6	370,9	25,2

CH	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	-0,04	116,9	-301,1	20,8
	2	-0,21	19,9	-50,7	12,2
	3	-0,19	21,5	-55,1	12,5
	4	-0,13	31,7	-81,6	21,8
	5	-0,36	11,7	-29,6	19,3
	6	1	-4,2	10,3	40,3
	7	-0,22	18,8	-48,2	11,7
	8	-0,07	60,7	-156,6	23,4
	9	-0,10	40,3	-102,9	10,1
	10	0,04	-95,5	246,1	21,8
Sig. in Int. 2	1	0,02	267,9	362,0	12,9
	2	-0,13	-42,4	-57,2	14,2
	3	-0,14	-41,0	-55,36	20,6
	4	-0,26	-22,0	-30,0	31,3
	5	-0,40	-14,3	-19,1	11,5
	6	1	5,6	7,2	26,5
	7	-0,07	-76,2	-103,1	14,1
	8	0,13	42,3	57,0	8,0
	9	-0,15	-37,0	-50,0	16,1
	10	0,15	37,5	50,7	15,4
LI	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	0,07	-82,0	159,8	21,6
	2	0,03	-193,1	375,8	21,1
	3	-0,05	111,9	-217,2	19,2
	4	-0,66	9,0	-17,5	29,7
	5	-0,46	13,3	-25,8	18,4
	6	1	-6,0	11,5	16,3
	7	0,11	-54,7	106,5	21,2
	8	-0,21	29,4	-56,9	13,0
	9	0,20	-31,0	59,7	9,1
	10	0,13	-47,41	91,9	18,0
Sig. in Int. 2	1	-0,07	-60,9	-180,4	33,0
	2	0,26	15,5	45,2	9,0
	3	-0,25	-16,4	-48,3	19,4
	4	-0,28	-14,7	-42,5	11,4
	5	-0,44	-9,3	-27,3	21,0
	6	1	4,0	11,6	23,0
	7	-0,12	-33,8	-99,0	18,9
	8	0,08	51,6	150,1	7,4
	9	-0,02	-196,9	-577,8	18,1
	10	0,34	11,8	34,6	18,9

MA	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	0,04	-38,1	201,9	15,4
	2	-0,22	7,3	-37,9	14,1
	3	-0,18	8,6	-45,7	21,2
	4	-0,02	90,4	-480,2	21,7
	5	-0,23	7,0	-36,7	27,7
	6	1	-1,5	7,9	20,4
	7	-0,24	6,8	-35,2	22,5
	8	-0,01	182,1	-961,1	12,5
	9	0,05	-32,1	170,8	22,2
	10	0,16	-9,7	52,2	21,4
Sig. in Int. 2	1	0,02	381,3	436,6	17,9
	2	0,04	181,5	208,0	19,3
	3	-0,08	-96,0	-109,4	11,2
	4	-0,27	-29,0	-33,2	18,5
	5	-0,19	-42,3	-48,8	30,8
	6	1	7,7	8,6	42,6
	7	-0,40	-19,6	-22,3	20,0
	8	0,02	346,0	395,4	14,8
	9	0,04	176,5	201,6	14,4
	10	-0,01	-874,9	-1004,4	20,8
ST	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	0,24	-15,0	47,2	11,0
	2	-0,16	23,1	-72,8	11,5
	3	-0,25	14,7	-46,3	18,4
	4	-0,04	88,7	-208,2	16,9
	5	-0,38	9,5	-30,0	21,8
	6	1	-3,6	11,1	27,0
	7	-0,32	11,3	-35,5	11,2
	8	0,07	-55,4	173,9	7,9
	9	0,10	-35,4	112,6	26,4
	10	0,01	-716,4	2263	15,2
Sig. in Int. 2	1	-0,06	-88,5	-164,1	18,8
	2	-0,04	-138,8	-256,2	13,3
	3	-0,01	-461,2	-851,1	12,3
	4	-0,30	-16,8	-31,0	16,2
	5	-0,59	-8,5	-15,4	9,9
	6	1	4,9	8,8	20,3
	7	-0,30	-16,6	-30,7	29,1
	8	-0,12	-43,4	-80,0	17,2
	9	-0,08	-63,2	-117,2	21,0
	10	0,06	89,1	165,2	20,6

MI	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	-0,12	35,8	-49,2	19,9
	2	0,05	-86,4	119,3	18,6
	3	-0,04	96,5	-132,6	13,1
	4	-0,40	10,7	-14,5	21,6
	5	-0,37	11,6	-15,7	17,7
	6	1	-4,2	5,2	22,5
	7	0,07	-59,2	81,2	13,0
	8	0,06	-76,3	105,0	13,8
	9	-0,03	157,9	-218,2	21,0
	10	0,03	-134,5	185,8	20,9
Sig. in Int. 2	1	-0,09	-45,3	-66,9	29,3
	2	-0,04	-95,3	-138,8	12,0
	3	-0,17	-24,9	-36,3	22,0
	4	-0,47	-8,8	-12,7	21,7
	5	-0,52	-8,1	-11,4	13,1
	6	1	4,2	5,5	33,7
	7	0,04	94,7	139,2	23,9
	8	-0,13	-32,0	-46,5	18,5
	9	0,01	384,4	560,9	13,6
	10	0,15	28,2	40,8	8,9
TP	<i>i</i>	a_i	μ	σ	χ^2
Sig. in Int. 1	1	-0,02	129,1	-540,9	11,0
	2	-0,01	141,9	-599,5	24,7
	3	-0,30	7,1	-29,2	15,5
	4	-0,26	7,9	-33,3	23,4
	5	-0,56	3,7	-15,3	22,6
	6	1	-2,1	8,2	19,1
	7	-0,17	11,7	-49,8	15,7
	8	-0,09	22,7	-95,1	11,4
	9	-0,05	45,9	-192,6	26,8
	10	0,07	-29,8	125,3	16,7
Sig. in Int. 2	1	0,16	46,6	47,9	15,2
	2	0,20	37,6	38,6	16,0
	3	-0,04	-208,3	-216,4	26,0
	4	-0,18	-40,9	-42,2	20,1
	5	-0,33	-22,7	-23,2	18,8
	6	1	7,5	7,1	15,5
	7	-0,20	-37,8	-39,1	20,6
	8	-0,01	-806,0	-833,8	20,4
	9	-0,01	-552,8	-571,7	20,2
	10	-0,08	-95,7	-98,4	14,1

Gewichtsfunktionen, getrennt nach Bedingungen “Signal in Intervall 1“ und “Signal in Intervall 2“

Die Abbildungen 7.4 und 7.5 zeigen die Gewichtsfunktionen in Experiment 2 für alle acht Versuchspersonen in jeder der beiden Bedingungen “Segmentdauer 20 ms“ und “Segmentdauer 100 ms“. Hierbei steht jeweils die grüne Funktion für die Gewichte, die aus den Durchgängen mit dem “Signal“ in Intervall 1 resultierten, die rote Funktion für die Gewichte aus den Durchgängen mit dem “Signal“ in Intervall 2. Die Gewichte sind so normiert, dass das Gewicht für das 6. Segment, das das Inkrement enthielt, auf 1 gesetzt wurde und die übrigen Gewichte relativ dazu angepasst wurden. Die durchgezogene Linie gibt hier die Nulllinie wieder. Die Graphiken zeigen, dass sich die Muster der beiden Funktionen für “Signal in Intervall 1“ und “Signal in Intervall 2“ innerhalb einer Versuchsperson relativ stark ähneln. Die Strategien jeder Versuchsperson innerhalb einer Bedingung blieben also relativ konsistent.

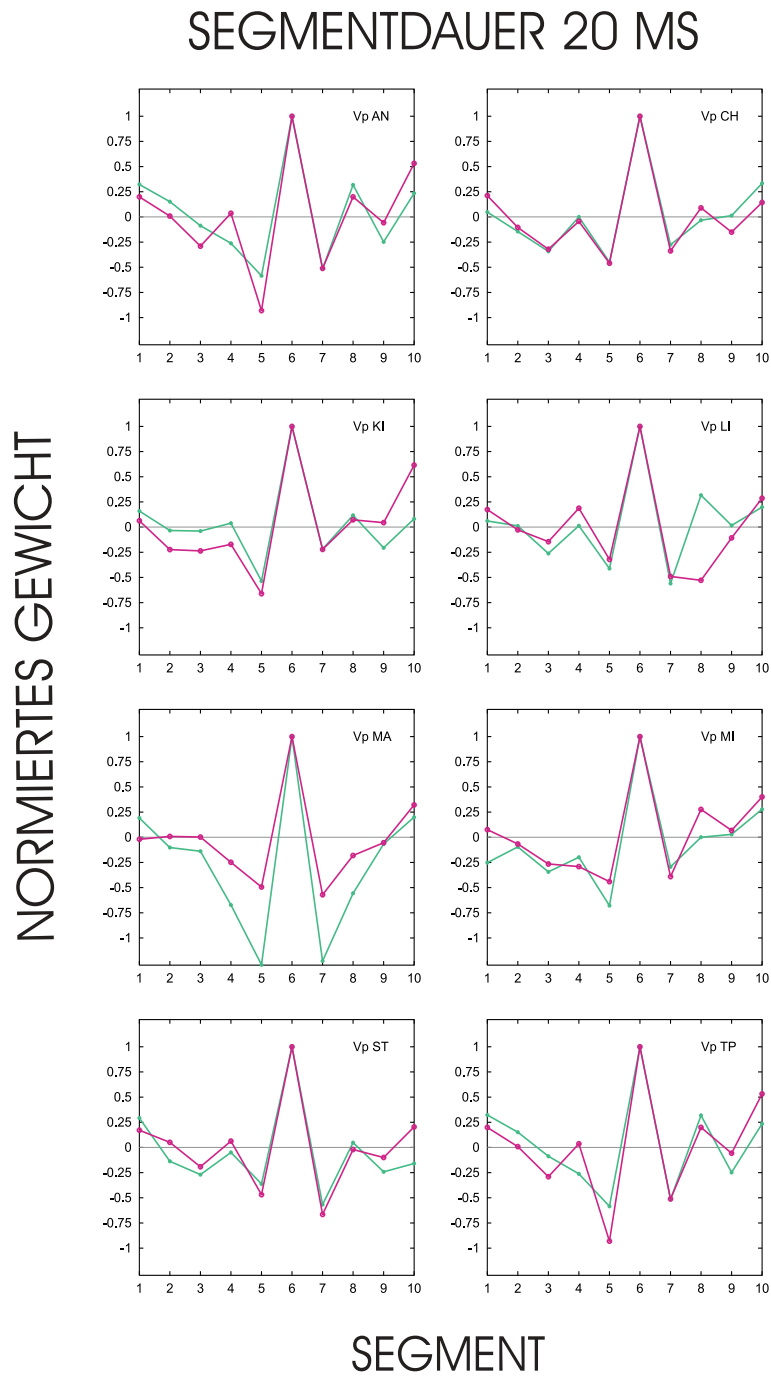
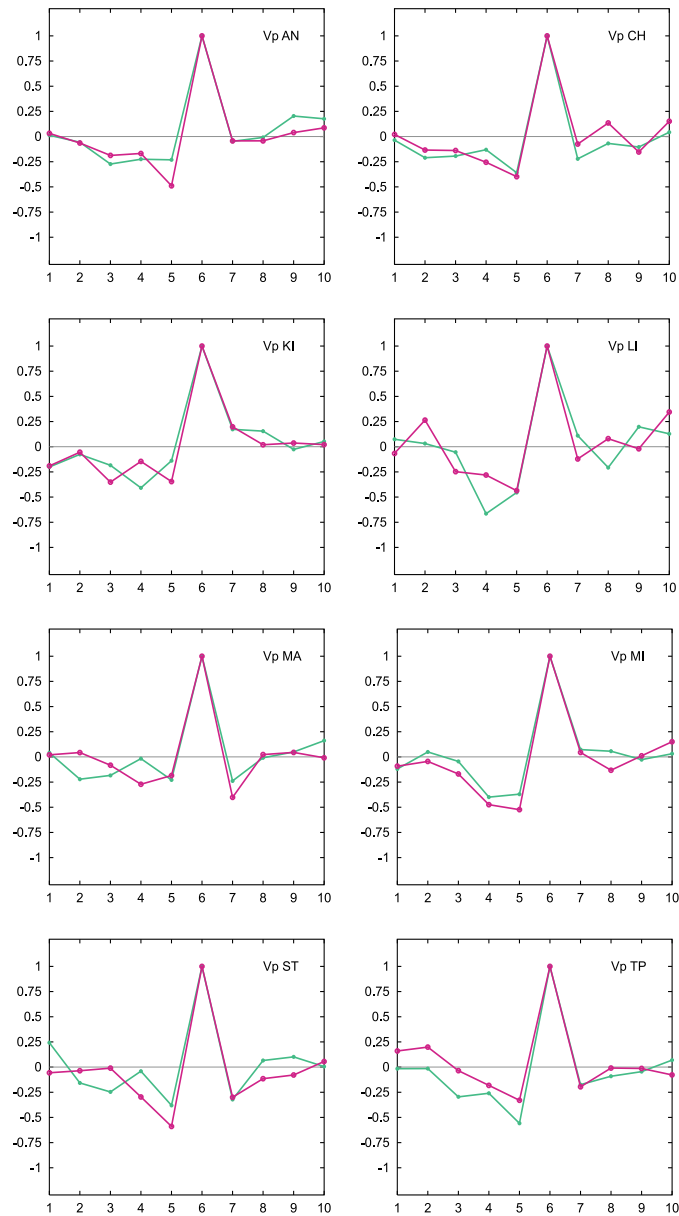


Abbildung 7.4: Gewichtsfunktionen für alle acht Versuchspersonen, Bedingung “Segmentdauer 20 ms”. Die grüne Funktion gibt die erhaltenen Gewichte für die Fälle “Signal in Intervall 1” wieder, die rote Funktion die Gewichte für die Fälle “Signal in Intervall 2”.

SEGMENTDAUER 100 MS

NORMIERTES GEWICHT



SEGMENT

Abbildung 7.5: Gewichtsfunktionen für alle acht Versuchspersonen, Bedingung "Segmentdauer 100 ms".

Anhang B3 - COSS-Analyse Experiment 3

Die folgenden Tabellen geben die Ergebnisse der COSS-Analyse (Schätzung psychometrischer Funktionen; Berg, 1989) für Experiment 3 wieder. Sie enthalten die folgenden Parameter:

- i : Zeitsegment
- a_i : normiertes Gewicht ($a_{i=9} = 1$)
- Parameter α und β : Parameter der mittels linearer Regression angepassten COSS-Funktion ($\alpha + \beta x$)
- R^2 : Bestimmtheitsmaß der linearen Regression

“Segmentdauer 10 ms“

BP	i	a_i	α	β	R^2
Signal	1	-1,28	2,827	-0,067	0,561
	2	-4,25	13,908	-0,248	0,884
	3	-1,31	2,934	-0,069	0,709
	4	1,06	-4,806	0,056	0,348
	5	-0,1	-1,035	-0,005	0,007
	6	0,32	-2,388	0,017	0,031
	7	-0,02	-1,278	-0,001	< 0,001
	8	0,22	-2,088	0,012	0,018
	9	1	-4,628	0,053	0,259
	10	1,7	-6,983	0,090	0,796
Noise	1	-0,54	6,806	-0,082	0,251
	2	-0,41	5,505	-0,062	0,685
	3	-0,43	5,728	-0,065	0,543
	4	-0,24	3,968	-0,037	0,532
	5	-0,01	1,812	-0,002	0,001
	6	0,48	-2,862	0,074	0,548
	7	0,27	-0,871	0,041	0,312
	8	-0,35	4,975	-0,053	0,673
	9	1	-8,031	0,158	0,730
	10	0,18	0,022	0,027	0,099

“Segmentdauer 20 ms“

BP	i	a_i	α	β	R^2
Signal	1	-0,74	3,843	-0,079	0,739
	2	-2,2	14,976	-,261	0,948
	3	-0,19	0,153	-0,020	0,096
	4	-0,01	-1,011	-0,001	< 0,001
	5	0,005	-1,087	< 0,001	< 0,001
	6	-0,01	-0,979	-0,001	< 0,001
	7	-0,12	-0,280	-0,013	0,019
	8	-0,09	-0,503	-0,009	0,005
	9	1	-7,787	0,108	0,424
	10	1,32	-10,048	0,144	0,814
Noise	1	-0,35	8,715	-0,125	0,658
	2	-0,24	6,221	-0,085	0,741
	3	-0,15	4,259	-0,053	0,567
	4	-0,02	1,346	-0,006	0,005
	5	-0,12	3,514	-0,041	0,508
	6	-0,17	4,557	-0,058	0,628
	7	0,01	0,758	0,003	0,095
	8	-0,02	1,476	-0,009	0,028
	9	1	-28,092	0,473	0,943
	10	0,24	-4,258	0,084	0,751

“Segmentdauer 10 ms“

TP	<i>i</i>	a_i	α	β	R^2
Signal	1	-2,19	3,803	-0,076	0,578
	2	-8,1	19,496	-0,331	0,996
	3	1,85	-4,835	0,064	0,685
	4	0,86	-2,701	0,029	0,348
	5	0,13	-1,152	0,004	0,026
	6	0,09	-1,057	0,003	0,003
	7	1,41	-3,880	0,048	0,539
	8	0,17	-1,232	0,006	0,014
	9	1	-2,996	0,034	0,483
	10	2,36	-5,935	0,082	0,897
Noise	1	-0,41	3,228	-0,035	0,344
	2	-0,53	3,857	-0,045	0,482
	3	-0,08	1,493	-0,007	0,038
	4	-0,42	3,310	-0,036	0,477
	5	-0,01	1,102	-0,001	0,0002
	6	-0,11	1,643	-0,009	0,045
	7	-0,3	2,630	-0,025	0,193
	8	0,06	0,732	0,005	0,008
	9	1	-4,281	0,086	0,813
	10	-0,29	2,577	-0,024	0,203
WE	<i>i</i>	a_i	α	β	R^2
Signal	1	0,57	-1,273	0,018	0,104
	2	1,48	-3,050	0,046	0,766
	3	-1,25	2,254	-0,039	0,366
	4	0,77	-1,668	0,024	0,233
	5	1,47	-3,032	0,046	0,537
	6	1,64	-3,357	0,051	0,703
	7	1,06	-2,233	0,033	0,359
	8	-0,26	0,330	-0,008	0,040
	9	1	-2,113	0,031	0,290
	10	0,2	-0,564	0,006	0,029
Noise	1	0,27	-0,892	0,019	0,409
	2	0,07	-0,023	0,005	0,005
	3	0,33	-1,158	0,023	0,158
	4	-0,16	0,956	-0,011	0,038
	5	0,21	-0,645	0,015	0,096
	6	-0,12	0,806	-0,009	0,041
	7	0,32	-1,100	0,022	0,291
	8	-0,18	1,044	-0,012	0,086
	9	1	-4,077	0,070	0,793
	10	0,43	-1,571	0,030	0,602

“Segmentdauer 20 ms“

TP	<i>i</i>	a_i	α	β	R^2
Signal	1	-2,3	3,378	-0,065	0,499
	2	-10,64	22,424	-0,375	0,978
	3	3,14	-6,246	0,090	0,527
	4	0,62	-1,753	0,017	0,050
	5	-0,8	0,727	-0,022	0,222
	6	0,93	-2,297	0,026	0,264
	7	0,02	-0,701	0,001	0,001
	8	0,46	-1,472	0,013	0,057
	9	1	-2,414	0,028	0,569
	10	1,93	-4,048	0,055	0,906
Noise	1	-1,12	9,723	-0,141	0,673
	2	-0,04	1,219	-0,005	0,003
	3	-0,07	1,489	-0,009	0,007
	4	-0,01	1,002	-0,001	0,001
	5	-0,32	3,337	-0,039	0,333
	6	0,25	-0,934	0,030	0,142
	7	-0,29	3,150	-0,036	0,366
	8	-0,59	5,430	-0,073	0,500
	9	1	-6,827	0,125	0,923
	10	0,42	-2,235	0,051	0,604
WE	<i>i</i>	a_i	α	β	R^2
Signal	1	-0,67	3,375	-0,058	0,772
	2	-0,6	3,030	-0,053	0,691
	3	-0,5	2,476	-0,044	0,641
	4	-0,02	-0,149	-0,001	0,001
	5	0,21	-1,365	0,018	0,174
	6	-0,34	1,591	-0,030	0,225
	7	-0,03	-0,072	-0,003	0,003
	8	0,23	-1,490	0,020	0,254
	9	1	-5,691	0,088	0,613
	10	0,79	-4,515	0,069	0,814
Noise	1	-0,3	2,951	-0,040	0,300
	2	-0,44	4,159	-0,059	0,622
	3	-0,26	2,644	-0,034	0,210
	4	-0,13	1,566	-0,017	0,143
	5	-0,28	2,818	-0,037	0,501
	6	0,01	0,408	0,001	0,001
	7	0,14	-0,678	0,019	0,108
	8	-0,29	2,891	-0,039	0,306
	9	1	-7,981	0,137	0,940
	10	0,36	-2,474	0,048	0,537

Anhang C1 - Logistische Regression Experiment 1

Die folgenden Tabellen geben die Ergebnisse der logistischen Regression für Experiment 1 wieder.

Vp BA	Bedingung "Pausen 5 ms"							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,270	0,026	< 0,001	0,399	0,239	0,026	< 0,001	0,370
β_2	0,102	0,024	< 0,001	0,151	0,077	0,024	0,001	0,119
β_3	0,037	0,023	0,108	0,055	0,100	0,024	< 0,001	0,155
β_4	0,045	0,023	0,052	0,067	0,016	0,025	0,520	0,025
β_5	0,033	0,023	0,144	0,049	0,032	0,025	0,194	0,050
β_6	0,046	0,022	0,039	0,068	0,027	0,024	0,265	0,042
β_7	0,015	0,024	0,514	0,022	0,035	0,024	0,147	0,054
β_8	0,008	0,023	0,730	0,012	0,024	0,024	0,311	0,037
β_9	0,048	0,023	0,038	0,071	0,075	0,024	0,002	0,116
β_{10}	0,072	0,024	0,002	0,107	0,021	0,024	0,389	0,033
β_0	-0,343	0,099	0,001		0,207	0,096	0,031	

Vp BA	Bedingung "Pausen 40 ms"							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,216	0,025	< 0,001	0,313	0,214	0,027	< 0,001	0,250
β_2	0,135	0,023	< 0,001	0,196	0,160	0,027	< 0,001	0,187
β_3	0,112	0,024	< 0,001	0,162	0,120	0,027	< 0,001	0,140
β_4	0,061	0,024	0,010	0,088	0,076	0,026	0,004	0,089
β_5	0,045	0,023	0,056	0,065	0,048	0,026	0,069	0,056
β_6	0,035	0,023	0,136	0,051	0,047	0,026	0,069	0,055
β_7	0,043	0,024	0,070	0,062	0,080	0,026	0,002	0,093
β_8	0,030	0,023	0,196	0,043	0,069	0,027	0,012	0,081
β_9	0,006	0,023	0,803	0,009	0,013	0,026	0,627	0,015
β_{10}	0,007	0,023	0,745	0,010	0,030	0,025	0,235	0,035
β_0	-0,278	0,098	0,005		0,367	0,099	< 0,001	

Vp BA	Bedingung "Pausen 100 ms"							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,118	0,024	< 0,001	0,124	0,110	0,028	< 0,001	0,116
β_2	0,105	0,024	< 0,001	0,110	0,085	0,028	0,002	0,090
β_3	0,086	0,024	< 0,001	0,090	0,091	0,028	0,001	0,096
β_4	0,078	0,023	0,001	0,082	0,078	0,028	0,005	0,082
β_5	0,121	0,023	< 0,001	0,127	0,086	0,029	0,003	0,091
β_6	0,067	0,023	0,003	0,070	0,078	0,027	0,004	0,082
β_7	0,085	0,023	< 0,001	0,089	0,077	0,028	0,006	0,081
β_8	0,050	0,024	0,037	0,052	0,093	0,027	0,001	0,098
β_9	0,142	0,024	< 0,001	0,149	0,131	0,028	< 0,001	0,138
β_{10}	0,102	0,023	< 0,001	0,107	0,119	0,028	< 0,001	0,126
β_0	-0,736	0,104	< 0,001		0,544	0,099	< 0,001	

Vp CA	Bedingung "Pausen 5 ms"							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,105	0,027	< 0,001	0,069	0,200	0,032	< 0,001	0,127
β_2	0,272	0,030	< 0,001	0,180	0,182	0,031	< 0,001	0,115
β_3	0,213	0,030	< 0,001	0,141	0,202	0,031	< 0,001	0,128
β_4	0,199	0,029	< 0,001	0,132	0,176	0,031	< 0,001	0,111
β_5	0,143	0,030	< 0,001	0,095	0,181	0,032	< 0,001	0,115
β_6	0,168	0,028	< 0,001	0,111	0,125	0,031	< 0,001	0,079
β_7	0,106	0,028	< 0,001	0,070	0,150	0,033	< 0,001	0,095
β_8	0,090	0,028	0,002	0,060	0,144	0,031	< 0,001	0,091
β_9	0,117	0,028	< 0,001	0,077	0,079	0,031	0,012	0,050
β_{10}	0,099	0,028	< 0,001	0,065	0,140	0,032	< 0,001	0,089
β_0	-0,210	0,105	0,046		0,211	0,110	0,056	
Vp CA	Bedingung "Pausen 40 ms"							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,193	0,029	< 0,001	0,117	0,242	0,032	< 0,001	0,143
β_2	0,237	0,032	< 0,001	0,144	0,266	0,033	< 0,001	0,157
β_3	0,245	0,030	< 0,001	0,149	0,271	0,034	< 0,001	0,160
β_4	0,212	0,029	< 0,001	0,129	0,188	0,032	< 0,001	0,111
β_5	0,208	0,029	< 0,001	0,126	0,174	0,032	< 0,001	0,103
β_6	0,172	0,029	< 0,001	0,104	0,165	0,031	< 0,001	0,098
β_7	0,106	0,027	< 0,001	0,064	0,113	0,031	< 0,001	0,067
β_8	0,123	0,028	< 0,001	0,075	0,122	0,031	< 0,001	0,072
β_9	0,087	0,028	0,002	0,053	0,072	0,029	0,014	0,043
β_{10}	0,066	0,027	0,014	0,040	0,076	0,030	0,012	0,045
β_0	-0,597	0,116	< 0,001		0,189	0,109	0,084	
Vp CA	Bedingung "Pausen 100 ms"							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,248	0,028	< 0,001	0,183	0,221	0,030	< 0,001	0,180
β_2	0,201	0,026	< 0,001	0,148	0,158	0,029	< 0,001	0,128
β_3	0,190	0,028	< 0,001	0,140	0,196	0,031	< 0,001	0,159
β_4	0,170	0,027	< 0,001	0,125	0,112	0,029	< 0,001	0,091
β_5	0,134	0,025	< 0,001	0,099	0,159	0,029	< 0,001	0,129
β_6	0,102	0,026	< 0,001	0,075	0,120	0,028	< 0,001	0,097
β_7	0,121	0,027	< 0,001	0,089	0,052	0,028	0,065	0,042
β_8	0,099	0,026	< 0,001	0,073	0,096	0,029	0,001	0,078
β_9	0,047	0,026	0,071	0,035	0,071	0,029	0,014	0,058
β_{10}	0,046	0,026	0,076	0,034	0,046	0,028	0,105	0,037
β_0	-0,402	0,105	< 0,001		0,268	0,106	0,011	

Vp CR	Bedingung "Pausen 5 ms"							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,138	0,025	< 0,001	0,139	0,146	0,027	< 0,001	0,138
β_2	0,130	0,026	< 0,001	0,131	0,171	0,028	< 0,001	0,162
β_3	0,167	0,026	< 0,001	0,168	0,096	0,027	< 0,001	0,091
β_4	0,082	0,024	0,001	0,082	0,125	0,027	< 0,001	0,118
β_5	0,081	0,024	0,001	0,081	0,093	0,027	0,001	0,088
β_6	0,111	0,026	< 0,001	0,111	0,067	0,026	0,011	0,063
β_7	0,074	0,025	0,003	0,074	0,067	0,027	0,012	0,063
β_8	0,069	0,025	0,005	0,069	0,055	0,027	0,041	0,052
β_9	0,078	0,024	0,001	0,078	0,072	0,027	0,006	0,068
β_{10}	0,066	0,024	0,007	0,066	0,164	0,028	< 0,001	0,155
β_0	-0,105	0,099	0,288		0,301	0,097	0,002	

Vp CR	Bedingung "Pausen 40 ms"							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,154	0,026	< 0,001	0,135	0,154	0,026	< 0,001	0,141
β_2	0,185	0,027	< 0,001	0,162	0,172	0,027	< 0,001	0,158
β_3	0,162	0,026	< 0,001	0,142	0,110	0,026	< 0,001	0,101
β_4	0,187	0,027	< 0,001	0,164	0,114	0,026	< 0,001	0,105
β_5	0,104	0,027	< 0,001	0,091	0,097	0,027	< 0,001	0,089
β_6	0,074	0,027	0,005	0,065	0,128	0,026	< 0,001	0,117
β_7	0,054	0,025	0,032	0,047	0,095	0,026	< 0,001	0,087
β_8	0,047	0,025	0,057	0,041	0,054	0,026	0,040	0,050
β_9	0,066	0,025	0,008	0,058	0,075	0,026	0,004	0,069
β_{10}	0,109	0,026	< 0,001	0,095	0,091	0,027	0,001	0,083
β_0	-0,076	0,100	0,449		-0,031	0,103	0,763	

Vp CR	Bedingung "Pausen 100 ms"							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,095	0,024	< 0,001	0,124	0,093	0,025	< 0,001	0,116
β_2	0,094	0,023	< 0,001	0,122	0,078	0,024	0,001	0,098
β_3	0,094	0,024	< 0,001	0,122	0,141	0,025	< 0,001	0,176
β_4	0,101	0,025	< 0,001	0,131	0,101	0,025	< 0,001	0,126
β_5	0,106	0,024	< 0,001	0,138	0,111	0,023	< 0,001	0,139
β_6	0,093	0,024	< 0,001	0,121	0,081	0,024	0,001	0,101
β_7	0,040	0,024	0,088	0,052	0,083	0,024	0,001	0,104
β_8	0,075	0,023	0,001	0,098	0,100	0,024	< 0,001	0,125
β_9	0,055	0,024	0,022	0,072	0,022	0,023	0,338	0,028
β_{10}	0,016	0,024	0,510	0,021	-0,011	0,023	0,632	-0,014
β_0	-0,088	0,093	0,343		-0,112	0,097	0,251	

Vp HA	Bedingung "Pausen 5 ms"							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,137	0,024	< 0,001	0,162	0,179	0,032	< 0,001	0,156
β_2	0,142	0,024	< 0,001	0,167	0,105	0,032	0,001	0,092
β_3	0,113	0,023	< 0,001	0,133	0,142	0,032	< 0,001	0,124
β_4	0,078	0,024	0,001	0,092	0,212	0,033	< 0,001	0,185
β_5	0,072	0,024	0,003	0,085	0,099	0,033	0,003	0,086
β_6	0,026	0,023	0,256	0,031	0,052	0,030	0,091	0,045
β_7	0,074	0,023	0,001	0,087	0,051	0,031	0,098	0,044
β_8	0,078	0,024	0,001	0,092	0,098	0,031	0,002	0,085
β_9	0,047	0,023	0,039	0,055	0,144	0,032	< 0,001	0,126
β_{10}	0,081	0,024	0,001	0,096	0,065	0,032	0,042	0,057
β_0	-0,557	0,101	< 0,001		0,886	0,112	< 0,001	

Vp HA	Bedingung "Pausen 40 ms"							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,187	0,024	< 0,001	0,224	0,190	0,031	< 0,001	0,187
β_2	0,182	0,024	< 0,001	0,218	0,182	0,030	< 0,001	0,179
β_3	0,123	0,024	< 0,001	0,148	0,144	0,031	< 0,001	0,141
β_4	0,074	0,022	0,001	0,089	0,117	0,030	< 0,001	0,115
β_5	0,089	0,023	< 0,001	0,107	0,077	0,029	0,008	0,076
β_6	0,016	0,022	0,486	0,019	0,036	0,029	0,218	0,035
β_7	0,051	0,023	0,024	0,061	0,064	0,029	0,029	0,063
β_8	0,033	0,024	0,164	0,040	0,043	0,029	0,138	0,042
β_9	0,026	0,024	0,288	0,031	0,085	0,030	0,004	0,083
β_{10}	0,052	0,024	0,029	0,062	0,080	0,030	0,008	0,079
β_0	-0,537	0,098	< 0,001		0,636	0,105	< 0,001	

Vp HA	Bedingung "Pausen 100 ms"							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,273	0,027	< 0,001	0,325	0,244	0,031	< 0,001	0,249
β_2	0,166	0,025	< 0,001	0,197	0,187	0,029	< 0,001	0,191
β_3	0,138	0,025	< 0,001	0,164	0,115	0,028	< 0,001	0,117
β_4	0,021	0,025	0,388	0,025	0,022	0,029	0,441	0,022
β_5	0,022	0,024	0,367	0,026	0,083	0,029	0,004	0,085
β_6	0,051	0,024	0,035	0,061	0,038	0,028	0,174	0,039
β_7	0,058	0,024	0,016	0,069	0,087	0,029	0,002	0,089
β_8	-0,008	0,024	0,737	-0,010	0,058	0,028	0,041	0,059
β_9	0,073	0,023	0,002	0,087	0,051	0,027	0,063	0,052
β_{10}	0,047	0,024	0,045	0,056	0,096	0,029	0,001	0,098
β_0	-0,570	0,102	< 0,001		0,599	0,101	< 0,001	

Vp JO	Bedingung "Pausen 5 ms"							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,104	0,024	< 0,001	0,113	0,169	0,029	< 0,001	0,143
β_2	0,149	0,023	< 0,001	0,162	0,167	0,029	< 0,001	0,141
β_3	0,113	0,024	< 0,001	0,123	0,150	0,029	< 0,001	0,127
β_4	0,097	0,024	< 0,001	0,106	0,146	0,029	< 0,001	0,124
β_5	0,144	0,024	< 0,001	0,157	0,135	0,029	< 0,001	0,114
β_6	0,086	0,023	< 0,001	0,094	0,103	0,029	< 0,001	0,087
β_7	0,059	0,023	0,012	0,064	0,102	0,029	< 0,001	0,086
β_8	0,053	0,023	0,020	0,058	0,089	0,028	0,002	0,075
β_9	0,070	0,023	0,003	0,076	0,085	0,028	0,002	0,072
β_{10}	0,043	0,023	0,067	0,047	0,036	0,028	0,206	0,030
β_0	-0,557	0,100	< 0,001		0,450	0,103	< 0,001	
Vp JO	Bedingung "Pausen 40 ms"							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,187	0,024	< 0,001	0,215	0,159	0,029	< 0,001	0,141
β_2	0,156	0,024	< 0,001	0,179	0,218	0,030	< 0,001	0,194
β_3	0,120	0,024	< 0,001	0,138	0,172	0,030	< 0,001	0,153
β_4	0,109	0,024	< 0,001	0,125	0,125	0,028	< 0,001	0,111
β_5	0,077	0,024	0,001	0,089	0,073	0,028	0,009	0,065
β_6	0,082	0,024	0,001	0,094	0,116	0,029	< 0,001	0,103
β_7	0,033	0,024	0,168	0,038	0,027	0,029	0,357	0,024
β_8	0,045	0,023	0,056	0,052	0,129	0,030	< 0,001	0,115
β_9	0,018	0,023	0,437	0,021	0,075	0,027	0,006	0,067
β_{10}	0,043	0,024	0,068	0,049	0,030	0,030	0,326	0,027
β_0	-0,340	0,100	0,001		0,531	0,103	< 0,001	
Vp JO	Bedingung "Pausen 100 ms"							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,211	0,025	< 0,001	0,226	0,180	0,028	< 0,001	0,204
β_2	0,151	0,025	< 0,001	0,162	0,151	0,027	< 0,001	0,171
β_3	0,097	0,024	< 0,001	0,104	0,056	0,026	0,030	0,064
β_4	0,094	0,025	< 0,001	0,101	0,091	0,026	0,001	0,103
β_5	0,118	0,025	< 0,001	0,126	0,076	0,026	0,003	0,086
β_6	0,119	0,025	< 0,001	0,127	0,042	0,026	0,116	0,048
β_7	0,005	0,024	0,827	0,005	0,059	0,027	0,027	0,067
β_8	0,065	0,024	0,006	0,070	0,094	0,027	< 0,001	0,107
β_9	0,049	0,025	0,049	0,052	0,110	0,028	< 0,001	0,125
β_{10}	0,025	0,023	0,277	0,027	0,022	0,026	0,391	0,025
β_0	-0,461	0,106	< 0,001		0,354	0,103	0,001	

Vp KA	Bedingung "Pausen 5 ms"							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,079	0,024	0,001	0,084	0,067	0,026	0,010	0,068
β_2	0,137	0,025	< 0,001	0,145	0,133	0,027	< 0,001	0,134
β_3	0,129	0,026	< 0,001	0,137	0,174	0,026	< 0,001	0,175
β_4	0,118	0,024	< 0,001	0,125	0,126	0,025	< 0,001	0,127
β_5	0,084	0,025	0,001	0,089	0,086	0,026	0,001	0,087
β_6	0,102	0,024	< 0,001	0,108	0,127	0,026	< 0,001	0,128
β_7	0,106	0,025	< 0,001	0,112	0,091	0,026	< 0,001	0,092
β_8	0,059	0,024	0,015	0,062	0,087	0,025	0,001	0,088
β_9	0,047	0,023	0,043	0,050	0,075	0,025	0,002	0,076
β_{10}	0,084	0,024	0,001	0,089	0,026	0,025	0,311	0,026
β_0	-0,180	0,094	0,056		0,060	0,096	0,535	

Vp KA	Bedingung "Pausen 40 ms"							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,140	0,024	< 0,001	0,197	0,092	0,026	< 0,001	0,153
β_2	0,173	0,024	< 0,001	0,244	0,124	0,027	< 0,001	0,207
β_3	0,113	0,025	< 0,001	0,159	0,137	0,027	< 0,001	0,228
β_4	0,084	0,023	< 0,001	0,118	0,083	0,026	0,002	0,138
β_5	0,060	0,023	0,009	0,085	0,064	0,027	0,017	0,107
β_6	0,051	0,024	0,032	0,072	0,073	0,026	0,005	0,122
β_7	0,021	0,022	0,331	0,030	0,035	0,026	0,179	0,058
β_8	0,006	0,023	0,781	0,008	-0,007	0,026	0,781	-0,012
β_9	0,053	0,024	0,025	0,075	-0,007	0,026	0,801	-0,012
β_{10}	0,008	0,023	0,741	0,011	0,006	0,027	0,818	0,010
β_0	-0,495	0,101	< 0,001		0,720	0,102	< 0,001	

Vp KA	Bedingung "Pausen 100 ms"							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,118	0,024	< 0,001	0,186	0,126	0,030	< 0,001	0,172
β_2	0,121	0,022	< 0,001	0,191	0,150	0,029	< 0,001	0,205
β_3	0,094	0,022	< 0,001	0,148	0,121	0,029	< 0,001	0,165
β_4	0,081	0,023	< 0,001	0,128	0,104	0,029	< 0,001	0,142
β_5	0,075	0,024	0,001	0,118	0,049	0,029	0,085	0,067
β_6	0,081	0,022	< 0,001	0,128	0,059	0,028	0,034	0,081
β_7	0,016	0,023	0,475	0,025	0,041	0,030	0,167	0,056
β_8	0,065	0,024	0,006	0,103	0,086	0,029	0,003	0,117
β_9	0,002	0,023	0,921	0,003	-0,003	0,030	0,923	-0,004
β_{10}	-0,020	0,023	0,388	-0,032	-0,001	0,030	0,979	-0,001
β_0	-0,941	0,105	< 0,001		0,994	0,103	< 0,001	

Vp LK	Bedingung "Pausen 5 ms"							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,077	0,026	0,003	0,065	0,074	0,027	0,006	0,068
β_2	0,114	0,026	< 0,001	0,097	0,117	0,026	< 0,001	0,107
β_3	0,151	0,026	< 0,001	0,128	0,166	0,027	< 0,001	0,152
β_4	0,167	0,026	< 0,001	0,142	0,125	0,025	< 0,001	0,114
β_5	0,111	0,025	< 0,001	0,094	0,115	0,027	< 0,001	0,105
β_6	0,170	0,026	< 0,001	0,145	0,099	0,026	< 0,001	0,090
β_7	0,131	0,025	< 0,001	0,111	0,132	0,026	< 0,001	0,121
β_8	0,101	0,026	< 0,001	0,086	0,118	0,028	< 0,001	0,108
β_9	0,088	0,026	0,001	0,075	0,099	0,026	< 0,001	0,090
β_{10}	0,066	0,026	0,012	0,056	0,050	0,026	0,060	0,046
β_0	-0,156	0,100	0,120		-0,021	0,102	0,837	

Vp LK	Bedingung "Pausen 40 ms"							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,170	0,025	< 0,001	0,173	0,139	0,025	< 0,001	0,149
β_2	0,178	0,027	< 0,001	0,181	0,211	0,027	< 0,001	0,227
β_3	0,207	0,027	< 0,001	0,210	0,143	0,025	< 0,001	0,154
β_4	0,114	0,025	< 0,001	0,116	0,109	0,025	< 0,001	0,117
β_5	0,093	0,025	< 0,001	0,094	0,147	0,026	< 0,001	0,158
β_6	0,066	0,025	0,009	0,067	0,041	0,025	0,107	0,044
β_7	0,063	0,025	0,011	0,064	0,006	0,025	0,807	0,006
β_8	0,029	0,025	0,246	0,029	0,054	0,025	0,031	0,058
β_9	0,072	0,024	0,003	0,073	0,039	0,025	0,112	0,042
β_{10}	-0,007	0,025	0,791	-0,007	0,042	0,025	0,096	0,045
β_0	0,021	0,096	0,825		-0,153	0,100	0,127	

Vp LK	Bedingung "Pausen 100 ms"							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,191	0,025	< 0,001	0,223	0,181	0,027	< 0,001	0,190
β_2	0,179	0,024	< 0,001	0,209	0,217	0,028	< 0,001	0,227
β_3	0,134	0,025	< 0,001	0,156	0,134	0,026	< 0,001	0,140
β_4	0,067	0,023	0,004	0,078	0,058	0,026	0,024	0,061
β_5	0,064	0,024	0,009	0,075	0,117	0,026	< 0,001	0,123
β_6	0,058	0,025	0,017	0,068	0,056	0,026	0,031	0,059
β_7	0,034	0,024	0,153	0,040	0,067	0,026	0,011	0,070
β_8	0,041	0,024	0,081	0,048	0,036	0,026	0,160	0,038
β_9	0,037	0,024	0,128	0,043	0,045	0,027	0,095	0,047
β_{10}	0,053	0,024	0,025	0,062	0,044	0,026	0,091	0,046
β_0	-0,300	0,099	0,002		0,271	0,099	0,006	

Vp SB	Bedingung "Pausen 5 ms"							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,085	0,031	0,007	0,047	0,116	0,030	< 0,001	0,073
β_2	0,174	0,033	< 0,001	0,096	0,136	0,029	< 0,001	0,086
β_3	0,159	0,033	< 0,001	0,088	0,176	0,031	< 0,001	0,111
β_4	0,145	0,031	< 0,001	0,080	0,137	0,030	< 0,001	0,086
β_5	0,197	0,033	< 0,001	0,109	0,139	0,030	< 0,001	0,087
β_6	0,200	0,032	< 0,001	0,110	0,145	0,032	< 0,001	0,091
β_7	0,216	0,033	< 0,001	0,119	0,132	0,030	< 0,001	0,083
β_8	0,184	0,032	< 0,001	0,101	0,185	0,031	< 0,001	0,116
β_9	0,191	0,032	< 0,001	0,105	0,210	0,032	< 0,001	0,132
β_{10}	0,263	0,033	< 0,001	0,145	0,214	0,031	< 0,001	0,135
β_0	0,187	0,108	0,084		0,085	0,109	0,437	

Vp SB	Bedingung "Pausen 40 ms"							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,143	0,031	< 0,001	0,091	0,176	0,031	< 0,001	0,105
β_2	0,271	0,034	< 0,001	0,173	0,234	0,031	< 0,001	0,140
β_3	0,249	0,031	< 0,001	0,159	0,267	0,031	< 0,001	0,159
β_4	0,159	0,031	< 0,001	0,101	0,197	0,031	< 0,001	0,118
β_5	0,173	0,031	< 0,001	0,110	0,202	0,030	< 0,001	0,121
β_6	0,206	0,031	< 0,001	0,131	0,132	0,030	< 0,001	0,079
β_7	0,091	0,030	0,002	0,058	0,135	0,030	< 0,001	0,081
β_8	0,099	0,029	0,001	0,063	0,087	0,028	0,002	0,052
β_9	0,096	0,031	0,002	0,061	0,146	0,030	< 0,001	0,087
β_{10}	0,083	0,030	0,006	0,053	0,099	0,028	< 0,001	0,059
β_0	0,108	0,110	0,329		-0,178	0,111	0,107	

Vp SB	Bedingung "Pausen 100 ms"							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,214	0,028	< 0,001	0,166	0,254	0,029	< 0,001	0,232
β_2	0,254	0,029	< 0,001	0,197	0,190	0,029	< 0,001	0,173
β_3	0,211	0,028	< 0,001	0,164	0,216	0,028	< 0,001	0,197
β_4	0,117	0,027	< 0,001	0,091	0,095	0,028	0,001	0,087
β_5	0,129	0,026	< 0,001	0,100	0,105	0,027	< 0,001	0,096
β_6	0,069	0,026	0,007	0,054	0,061	0,027	0,022	0,056
β_7	0,127	0,027	< 0,001	0,099	0,088	0,026	0,001	0,080
β_8	0,041	0,026	0,115	0,032	0,039	0,026	0,123	0,036
β_9	0,079	0,027	0,004	0,061	0,023	0,026	0,378	0,021
β_{10}	0,046	0,026	0,079	0,036	0,025	0,027	0,351	0,023
β_0	-0,292	0,107	0,006		0,267	0,102	0,009	

Anhang C2 - Logistische Regression Experiment 2

Die folgenden Tabellen geben die Ergebnisse der logistischen Regression für Experiment 2 wieder.

Vp AN	"Kurze" Reize (Segmentdauer 20 ms)							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,0093	0,0188	0,6206	0,069196429	0,0317	0,0202	0,1166	0,158341658
β_2	0,0267	0,0192	0,1636	0,198660714	0,0194	0,0206	0,3486	0,096903097
β_3	-0,0146	0,0185	0,4298	-0,108630952	0,0151	0,0211	0,4744	0,075424575
β_4	-0,0423	0,0184	0,0212	-0,314732143	-0,0386	0,0206	0,0613	-0,192807193
β_5	-0,0615	0,019	0,0012	-0,457589286	-0,1019	0,0206	< 0,001	-0,508991009
β_6	0,1344	0,0193	< 0,001	1	0,2002	0,0214	< 0,001	1
β_7	-0,0602	0,019	0,0015	-0,447916667	-0,1203	0,0208	< 0,001	-0,600899101
β_8	-0,0037	0,0187	0,8438	-0,027529762	-0,0034	0,0196	0,8603	-0,016983017
β_9	-0,014	0,0189	0,4605	-0,104166667	0,001	0,0202	0,9599	0,004995005
β_{10}	0,0636	0,0188	0,0007	0,473214286	0,0756	0,0205	0,0002	0,377622378
β_0	-0,0357	0,0898	0,6907		0,1744	0,0925	0,0595	

Vp AN	"Lange" Reize (Segmentdauer 100 ms)							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,0015	0,0206	0,942	0,008301051	0,0095	0,0217	0,6623	0,028366677
β_2	-0,0129	0,0208	0,5343	-0,071389043	-0,0233	0,0213	0,2735	-0,069573007
β_3	-0,06	0,0199	0,0025	-0,332042059	-0,0834	0,0218	0,0001	-0,249029561
β_4	-0,037	0,0198	0,0616	-0,20475927	-0,059	0,0221	0,0077	-0,176171992
β_5	-0,0468	0,0205	0,0228	-0,258992806	-0,1604	0,0227	< 0,001	-0,47894894
β_6	0,1807	0,0211	< 0,001	1	0,3349	0,0247	< 0,001	1
β_7	-0,0051	0,0198	0,797	-0,028223575	-0,0283	0,0222	0,2035	-0,084502837
β_8	-0,0041	0,0201	0,8401	-0,022689541	-0,0197	0,0224	0,3795	-0,058823529
β_9	0,0352	0,0193	0,0681	0,194798008	0,0078	0,0216	0,7187	0,023290534
β_{10}	0,0249	0,0204	0,2234	0,137797454	0,036	0,0217	0,0962	0,107494775
β_0	0,2378	0,0923	0,01		-0,1738	0,0971	0,0734	

Vp CH	“Kurze“ Reize (Segmentdauer 20 ms)							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,0083	0,0192	0,6663	0,055592766	0,0466	0,0203	0,022	0,273313783
β_2	-0,0248	0,019	0,192	-0,166108506	-0,0103	0,0201	0,61	-0,060410557
β_3	-0,0526	0,0187	0,0049	-0,352310784	-0,06	0,0207	0,0038	-0,351906158
β_4	-0,0001	0,0194	0,9955	-0,000669792	-0,0066	0,0209	0,7526	-0,038709677
β_5	-0,0728	0,0191	0,0001	-0,487608841	-0,0733	0,0204	0,0003	-0,429912023
β_6	0,1493	0,0194	< 0,001	1	0,1705	0,0209	< 0,001	1
β_7	-0,0426	0,0191	0,0257	-0,285331547	-0,0589	0,0197	0,0028	-0,345454545
β_8	-0,0007	0,0186	0,9706	-0,004688547	0,0105	0,0205	0,6084	0,061583578
β_9	-0,0083	0,0189	0,66	-0,055592766	-0,0281	0,0203	0,1667	-0,164809384
β_{10}	0,0462	0,0185	0,0127	0,309444072	0,0341	0,0202	0,0904	0,2
β_0	-0,1064	0,0907	0,2407		0,298	0,0904	0,001	

Vp CH	“Lange“ Reize (Segmentdauer 100 ms)							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	-0,0094	0,0187	0,6154	-0,053378762	0,0007	0,0224	0,9744	0,002793296
β_2	-0,0407	0,0193	0,0347	-0,231118683	-0,0276	0,0237	0,244	-0,110135674
β_3	-0,0302	0,0188	0,1076	-0,17149347	-0,0286	0,0226	0,2071	-0,114126097
β_4	-0,023	0,0185	0,2151	-0,130607609	-0,0531	0,0227	0,0192	-0,21189146
β_5	-0,0596	0,0193	0,0021	-0,338444066	-0,0998	0,0238	< 0,001	-0,398244214
β_6	0,1761	0,0205	< 0,001	1	0,2506	0,0245	< 0,001	1
β_7	-0,0333	0,0187	0,0752	-0,189097104	-0,0144	0,0222	0,5151	-0,057462091
β_8	-0,0118	0,0192	0,5392	-0,067007382	0,0303	0,022	0,1672	0,120909816
β_9	-0,0183	0,019	0,3356	-0,103918228	-0,0305	0,0226	0,1773	-0,121707901
β_{10}	0,0183	0,0182	0,3139	0,103918228	0,0322	0,0223	0,149	0,12849162
β_0	-0,0046	0,0902	0,959		0,3719	0,1001	0,0002	

Vp KI	“Kurze“ Reize (Segmentdauer 20 ms)							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,0321	0,0190	0,0902	0,1959	0,0082	0,0196	0,6747	0,0670
β_2	-0,0013	0,0188	0,9461	-0,0079	-0,0288	0,0196	0,1407	-0,2353
β_3	-0,0057	0,0185	0,7564	-0,0348	-0,0264	0,0194	0,1734	-0,2157
β_4	0,0137	0,0186	0,4629	0,0836	-0,0196	0,0197	0,3189	-0,1601
β_5	-0,0843	0,0189	< 0,001	-0,5143	-0,0743	0,0204	0,0003	-0,6070
β_6	0,1639	0,0194	< 0,001	1,0000	0,1224	0,0201	< 0,001	1,0000
β_7	-0,0283	0,0192	0,1412	-0,1727	-0,0226	0,0199	0,2572	-0,1846
β_8	0,0128	0,0189	0,4986	0,0781	0,0155	0,0199	0,4360	0,1266
β_9	-0,0216	0,0183	0,2389	-0,1318	0,0040	0,0199	0,8418	0,0327
β_{10}	0,0234	0,0187	0,2103	0,1428	0,0787	0,0196	0,0001	0,6430
β_0	-0,3227	0,0903	0,0004		0,3518	0,0938	0,0002	

Vp KI	“Lange“ Reize (Segmentdauer 100 ms)							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	-0,0428	0,0210	0,0416	-0,1952	-0,0488	0,0201	0,0153	-0,2209
β_2	-0,0168	0,0205	0,4111	-0,0766	-0,0180	0,0208	0,3859	-0,0815
β_3	-0,0410	0,0203	0,0430	-0,1870	-0,0795	0,0209	0,0001	-0,3599
β_4	-0,0834	0,0210	0,0001	-0,3803	-0,0406	0,0199	0,0416	-0,1838
β_5	-0,0472	0,0210	0,0248	-0,2152	-0,0661	0,0203	0,0011	-0,2992
β_6	0,2193	0,0219	< 0,001	1,0000	0,2209	0,0215	< 0,001	1,0000
β_7	0,0395	0,0210	0,0598	0,1801	0,0396	0,0202	0,0495	0,1793
β_8	0,0357	0,0212	0,0920	0,1628	0,0102	0,0200	0,6108	0,0462
β_9	0,0068	0,0209	0,7437	0,0310	0,0002	0,0200	0,9922	0,0009
β_{10}	0,0075	0,0210	0,7209	0,0342	0,0057	0,0203	0,7783	0,0258
β_0	0,1023	0,0950	0,2813		-0,0040	0,0935	0,9655	

Vp LI	“Kurze“ Reize (Segmentdauer 20 ms)							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,0074	0,0187	0,6927	0,0560	0,0265	0,0190	0,1618	0,2012
β_2	0,0029	0,0184	0,8758	0,0220	-0,0004	0,0177	0,9839	-0,0030
β_3	-0,0366	0,0186	0,0491	-0,2771	-0,0172	0,0191	0,3677	-0,1306
β_4	0,0054	0,0189	0,7767	0,0409	0,0175	0,0190	0,3578	0,1329
β_5	-0,0453	0,0189	0,0165	-0,3429	-0,0490	0,0188	0,0090	-0,3721
β_6	0,1321	0,0200	< 0,001	1,0000	0,1317	0,0195	< 0,001	1,0000
β_7	-0,0754	0,0190	0,0001	-0,5708	-0,0652	0,0190	0,0006	-0,4951
β_8	0,0332	0,0184	0,0710	0,2513	-0,0755	0,0194	0,0001	-0,5733
β_9	-0,0023	0,0189	0,9024	-0,0174	-0,0159	0,0191	0,4038	-0,1207
β_{10}	0,0261	0,0184	0,1563	0,1976	0,0420	0,0189	0,0261	0,3189
β_0	0,1359	0,0901	0,1316		-0,1585	0,0898	0,0776	

Vp LI	“Lange“ Reize (Segmentdauer 100 ms)							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,0108	0,0204	0,5945	0,0700	-0,0073	0,0188	0,6991	-0,0493
β_2	0,0014	0,0206	0,9461	0,0091	0,0240	0,0191	0,2094	0,1619
β_3	0,0021	0,0200	0,9149	0,0136	-0,0361	0,0193	0,0615	-0,2436
β_4	-0,0991	0,0202	0,0000	-0,6423	-0,0403	0,0187	0,0311	-0,2719
β_5	-0,0646	0,0205	0,0016	-0,4187	-0,0768	0,0194	0,0001	-0,5182
β_6	0,1543	0,0208	< 0,001	1,0000	0,1482	0,0190	< 0,001	1,0000
β_7	0,0167	0,0199	0,4007	0,1082	-0,0045	0,0185	0,8071	-0,0304
β_8	-0,0356	0,0202	0,0787	-0,2307	0,0092	0,0192	0,6310	0,0621
β_9	0,0321	0,0205	0,1170	0,2080	0,0084	0,0189	0,6576	0,0567
β_{10}	0,0226	0,0205	0,2703	0,1465	0,0512	0,0187	0,0061	0,3455
β_0	0,2667	0,0945	0,0048		-0,0033	0,0883	0,9698	

Vp MA	“Kurze“ Reize (Segmentdauer 20 ms)							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,0308	0,0192	0,1083	0,2833	0,0073	0,0202	0,7184	0,0357
β_2	-0,0032	0,0198	0,8731	-0,0294	-0,0016	0,0201	0,9387	-0,0078
β_3	-0,0126	0,0195	0,5188	-0,1159	-0,0107	0,0204	0,5993	-0,0523
β_4	-0,0638	0,0201	0,0015	-0,5869	-0,0569	0,0202	0,0049	-0,2782
β_5	-0,1237	0,0202	< 0,001	-1,1380	-0,0962	0,0204	< 0,001	-0,4704
β_6	0,1087	0,0204	< 0,001	1,0000	0,2045	0,0209	< 0,001	1,0000
β_7	-0,1260	0,0199	< 0,001	-1,1592	-0,1213	0,0216	< 0,001	-0,5932
β_8	-0,0500	0,0190	0,0086	-0,4600	-0,0401	0,0204	0,0496	-0,1961
β_9	-0,0217	0,0200	0,2769	-0,1996	-0,0175	0,0196	0,3721	-0,0856
β_{10}	0,0223	0,0202	0,2700	0,2052	0,0533	0,0203	0,0086	0,2606
β_0	0,3856	0,0965	0,0001		0,0708	0,0906	0,4342	

Vp MA	“Lange“ Reize (Segmentdauer 100 ms)							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,0190	0,0188	0,3113	0,0921	-0,0057	0,0235	0,8090	-0,0253
β_2	-0,0374	0,0193	0,0520	-0,1814	0,0118	0,0230	0,6083	0,0523
β_3	-0,0359	0,0189	0,0579	-0,1741	-0,0204	0,0241	0,3963	-0,0905
β_4	-0,0079	0,0188	0,6740	-0,0383	-0,0619	0,0238	0,0092	-0,2745
β_5	-0,0455	0,0192	0,0175	-0,2207	-0,0484	0,0237	0,0412	-0,2146
β_6	0,2062	0,0206	< 0,001	1,0000	0,2255	0,0241	< 0,001	1,0000
β_7	-0,0536	0,0192	0,0054	-0,2599	-0,0820	0,0234	0,0005	-0,3636
β_8	-0,0015	0,0190	0,9372	-0,0073	0,0081	0,0236	0,7306	0,0359
β_9	-0,0038	0,0189	0,8397	-0,0184	0,0080	0,0236	0,7347	0,0355
β_{10}	0,0400	0,0186	0,0318	0,1940	0,0034	0,0237	0,8847	0,0151
β_0	-0,4927	0,0957	< 0,001		0,7076	0,0984	< 0,001	

Vp MI	“Kurze“ Reize (Segmentdauer 20 ms)							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	-0,0384	0,0197	0,0513	-0,2485	0,0187	0,0204	0,3604	0,1218
β_2	-0,0175	0,0191	0,3600	-0,1133	-0,0062	0,0198	0,7545	-0,0404
β_3	-0,0525	0,0196	0,0073	-0,3398	-0,0333	0,0198	0,0931	-0,2169
β_4	-0,0280	0,0188	0,1360	-0,1812	-0,0456	0,0200	0,0223	-0,2971
β_5	-0,1041	0,0197	< 0,001	-0,6738	-0,0821	0,0200	< 0,001	-0,5349
β_6	0,1545	0,0202	< 0,001	1,0000	0,1535	0,0202	< 0,001	1,0000
β_7	-0,0493	0,0198	0,0130	-0,3191	-0,0534	0,0202	0,0083	-0,3479
β_8	0,0073	0,0200	0,7137	0,0472	0,0463	0,0197	0,0186	0,3016
β_9	0,0072	0,0197	0,7134	0,0466	0,0068	0,0198	0,7309	0,0443
β_{10}	0,0358	0,0193	0,0635	0,2317	0,0542	0,0198	0,0063	0,3531
β_0	0,1268	0,0931	0,1734		0,1946	0,0942	0,0389	

Vp MI	“Lange“ Reize (Segmentdauer 100 ms)							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	-0,0493	0,0233	0,0344	-0,1351	-0,0343	0,0232	0,1396	-0,0959
β_2	0,0199	0,0226	0,3770	0,0545	-0,0185	0,0237	0,4352	-0,0517
β_3	-0,0228	0,0229	0,3179	-0,0625	-0,0560	0,0236	0,0177	-0,1566
β_4	-0,1454	0,0236	< 0,001	-0,3985	-0,1752	0,0250	< 0,001	-0,4898
β_5	-0,1461	0,0237	< 0,001	-0,4004	-0,1841	0,0255	< 0,001	-0,5147
β_6	0,3649	0,0271	< 0,001	1,0000	0,3577	0,0274	< 0,001	1,0000
β_7	0,0126	0,0222	0,5695	0,0345	0,0198	0,0234	0,3967	0,0554
β_8	0,0114	0,0225	0,6133	0,0312	-0,0252	0,0236	0,2852	-0,0705
β_9	0,0080	0,0218	0,7128	0,0219	-0,0013	0,0245	0,9585	-0,0036
β_{10}	0,0002	0,0225	0,9924	0,0005	0,0474	0,0241	0,0492	0,1325
β_0	0,0609	0,1004	0,5443		0,0482	0,1046	0,6446	

Vp ST	“Kurze“ Reize (Segmentdauer 20 ms)							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,0377	0,0189	0,0456	0,2573	0,0186	0,0212	0,3810	0,1061
β_2	-0,0179	0,0186	0,3361	-0,1222	-0,0018	0,0208	0,9308	-0,0103
β_3	-0,0386	0,0191	0,0435	-0,2635	-0,0342	0,0204	0,0936	-0,1951
β_4	-0,0040	0,0190	0,8324	-0,0273	0,0136	0,0205	0,5056	0,0776
β_5	-0,0585	0,0196	0,0028	-0,3993	-0,0934	0,0211	< 0,001	-0,5328
β_6	0,1465	0,0201	< 0,001	1,0000	0,1753	0,0215	< 0,001	1,0000
β_7	-0,0797	0,0195	< 0,001	-0,5440	-0,1203	0,0206	< 0,001	-0,6863
β_8	0,0065	0,0189	0,7306	0,0444	-0,0001	0,0209	0,9954	-0,0006
β_9	-0,0287	0,0186	0,1227	-0,1959	-0,0058	0,0205	0,7761	-0,0331
β_{10}	-0,0225	0,0185	0,2259	-0,1536	0,0288	0,0201	0,1523	0,1643
β_0	-0,1248	0,0930	0,1797		0,3172	0,0945	0,0008	

Vp ST	“Lange“ Reize (Segmentdauer 100 ms)							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,0384	0,0190	0,0431	0,2447	-0,0274	0,0198	0,1670	-0,1452
β_2	-0,0219	0,0186	0,2392	-0,1396	-0,0045	0,0204	0,8248	-0,0238
β_3	-0,0393	0,0189	0,0382	-0,2505	-0,0029	0,0202	0,8853	-0,0154
β_4	-0,0035	0,0190	0,8528	-0,0223	-0,0572	0,0208	0,0059	-0,3031
β_5	-0,0593	0,0194	0,0022	-0,3779	-0,1122	0,0206	< 0,001	-0,5946
β_6	0,1569	0,0200	< 0,001	1,0000	0,1887	0,0207	< 0,001	1,0000
β_7	-0,0511	0,0189	0,0067	-0,3257	-0,0749	0,0203	0,0002	-0,3969
β_8	0,0149	0,0184	0,4167	0,0950	-0,0249	0,0199	0,2112	-0,1320
β_9	0,0163	0,0187	0,3833	0,1039	-0,0143	0,0202	0,4780	-0,0758
β_{10}	0,0070	0,0184	0,7048	0,0446	0,0244	0,0200	0,2241	0,1293
β_0	-0,0840	0,0916	0,3593		0,2198	0,0921	0,0169	

Vp TP	“Kurze“ Reize (Segmentdauer 20 ms)							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,0507	0,0192	0,0084	0,3021	0,0351	0,0203	0,0830	0,2822
β_2	0,0198	0,0192	0,3038	0,1180	-0,0016	0,0201	0,9355	-0,0129
β_3	-0,0174	0,0191	0,3617	-0,1037	-0,0281	0,0200	0,1588	-0,2259
β_4	-0,0376	0,0187	0,0443	-0,2241	0,0051	0,0201	0,8002	0,0410
β_5	-0,0989	0,0198	< 0,001	-0,5894	-0,1214	0,0206	< 0,001	-0,9759
β_6	0,1678	0,0204	< 0,001	1,0000	0,1244	0,0202	< 0,001	1,0000
β_7	-0,0843	0,0192	< 0,001	-0,5024	-0,0625	0,0208	0,0027	-0,5024
β_8	0,0442	0,0189	0,0195	0,2634	0,0247	0,0207	0,2337	0,1986
β_9	-0,0267	0,0191	0,1612	-0,1591	-0,0045	0,0202	0,8216	-0,0362
β_{10}	0,0411	0,0196	0,0356	0,2449	0,0733	0,0205	0,0004	0,5892
β_0	-0,2657	0,0939	0,0047		0,4712	0,0921	< 0,001	

Vp TP	“Lange“ Reize (Segmentdauer 100 ms)							
	Signal in Intervall 1				Signal in Intervall 2			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,0049	0,0187	0,7938	0,0238	0,0482	0,0248	0,0520	0,1798
β_2	0,0049	0,0183	0,7875	0,0238	0,0296	0,0264	0,2621	0,1104
β_3	-0,0649	0,0185	0,0005	-0,3149	-0,0282	0,0260	0,2789	-0,1052
β_4	-0,0595	0,0187	0,0015	-0,2887	-0,0448	0,0271	0,0977	-0,1671
β_5	-0,1182	0,0193	< 0,001	-0,5735	-0,0845	0,0256	0,0010	-0,3152
β_6	0,2061	0,0203	< 0,001	1,0000	0,2681	0,0277	< 0,001	1,0000
β_7	-0,0284	0,0191	0,1377	-0,1378	-0,0499	0,0260	0,0551	-0,1861
β_8	-0,0256	0,0189	0,1764	-0,1242	0,0013	0,0253	0,9591	0,0048
β_9	-0,0099	0,0196	0,6151	-0,0480	0,0000	0,0242	0,9989	-0,0001
β_{10}	0,0132	0,0189	0,4849	0,0640	-0,0016	0,0254	0,9498	-0,0060
β_0	-0,3874	0,0922	< 0,001		0,8102	0,1048	< 0,001	

Schätzung eines Gewichts für die Differenz im “roving level“

Die folgenden Tabellen geben die Ergebnisse der logistischen Regression für Experiment 2 wieder für den Fall, dass auch ein β -Koeffizient (β_L) für die Differenz im “roving level“ zwischen Intervall 1 und Intervall 2 geschätzt wurde. Die Daten für die Fälle “Signal in Intervall 1“ und “Signal in Intervall 2“ wurden hier gemeinsam ausgewertet.

Vp AN	“Kurze“ Reize (Segmentdauer 20 ms)				“Lange“ Reize (Segmentdauer 100 ms)			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,0190	0,0140	0,1580	0,1173	0,0070	0,0150	0,6590	0,0279
β_2	0,0220	0,0140	0,1170	0,1358	-0,0180	0,0150	0,2110	-0,0717
β_3	0,0010	0,0140	0,9170	0,0062	-0,0700	0,0150	< 0,001	-0,2789
β_4	-0,0400	0,0140	0,0030	-0,2469	-0,0440	0,0150	0,0030	-0,1753
β_5	-0,0780	0,0140	< 0,001	-0,4815	-0,0990	0,0150	< 0,001	-0,3944
β_6	0,1620	0,0140	< 0,001	1,0000	0,2510	0,0160	< 0,001	1,0000
β_7	-0,0870	0,0140	< 0,001	-0,5370	-0,0130	0,0150	0,3600	-0,0518
β_8	-0,0030	0,0130	0,8420	-0,0185	-0,0100	0,0150	0,5000	-0,0398
β_9	-0,0090	0,0140	0,5170	-0,0556	0,0240	0,0140	0,0980	0,0956
β_{10}	0,0680	0,0140	< 0,001	0,4198	0,0260	0,0150	0,0800	0,1036
β_L	-0,0010	0,0050	0,7700	-0,0062	0,0140	0,0050	0,0060	0,0558
β_0	0,0710	0,0640	0,2660		0,0400	0,0660	0,5410	

Vp CH	“Kurze“ Reize (Segmentdauer 20 ms)				“Lange“ Reize (Segmentdauer 100 ms)			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,0260	0,0140	0,0600	0,1688	-0,0040	0,0140	0,8040	-0,0193
β_2	-0,0200	0,0140	0,1550	-0,1299	-0,0350	0,0150	0,0180	-0,1691
β_3	-0,0540	0,0140	< 0,001	-0,3506	-0,0280	0,0140	0,0530	-0,1353
β_4	-0,0020	0,0140	0,9030	-0,0130	-0,0340	0,0140	0,0160	-0,1643
β_5	-0,0730	0,0140	< 0,001	-0,4740	-0,0790	0,0150	< 0,001	-0,3816
β_6	0,1540	0,0140	< 0,001	1,0000	0,2070	0,0160	< 0,001	1,0000
β_7	-0,0500	0,0140	< 0,001	-0,3247	-0,0250	0,0140	0,0750	-0,1208
β_8	0,0050	0,0140	0,6910	0,0325	0,0090	0,0140	0,5460	0,0435
β_9	-0,0180	0,0140	0,1870	-0,1169	-0,0230	0,0140	0,1160	-0,1111
β_{10}	0,0390	0,0140	0,0040	0,2532	0,0220	0,0140	0,1130	0,1063
β_L	-0,0020	0,0040	0,7230	-0,0130	0,0010	0,0050	0,7950	0,0048
β_0	0,1060	0,0640	0,0960		0,1700	0,0660	0,0100	

Vp KI	“Kurze“ Reize (Segmentdauer 20 ms)				“Lange“ Reize (Segmentdauer 100 ms)			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,0190	0,0130	0,1640	0,1319	-0,0460	0,0150	0,0010	-0,2072
β_2	-0,0150	0,0130	0,2690	-0,1042	-0,0180	0,0150	0,2250	-0,0811
β_3	-0,0130	0,0130	0,3110	-0,0903	-0,0590	0,0140	< 0,001	-0,2658
β_4	-0,0020	0,0130	0,9000	-0,0139	-0,0610	0,0140	< 0,001	-0,2748
β_5	-0,0800	0,0140	< 0,001	-0,5556	-0,0570	0,0150	< 0,001	-0,2568
β_6	0,1440	0,0140	< 0,001	1,0000	0,2220	0,0150	< 0,001	1,0000
β_7	-0,0240	0,0140	0,0800	-0,1667	0,0380	0,0140	0,0080	0,1712
β_8	0,0140	0,0140	0,3060	0,0972	0,0230	0,0150	0,1190	0,1036
β_9	-0,0070	0,0130	0,5820	-0,0486	0,0030	0,0140	0,8460	0,0135
β_{10}	0,0470	0,0130	< 0,001	0,3264	0,0090	0,0150	0,5530	0,0405
β_L	0,0050	0,0040	0,2440	0,0347	-0,0100	0,0050	0,0290	-0,0450
β_0	-0,0030	0,0640	0,9640		0,0430	0,0670	0,5150	

Vp LI	“Kurze“ Reize (Segmentdauer 20 ms)				“Lange“ Reize (Segmentdauer 100 ms)			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,0160	0,0130	0,2240	0,1203	0,0030	0,0140	0,8520	0,0199
β_2	-0,0010	0,0130	0,9330	-0,0075	0,0140	0,0140	0,3270	0,0927
β_3	-0,0270	0,0130	0,0390	-0,2030	-0,0170	0,0140	0,2170	-0,1126
β_4	0,0120	0,0130	0,3870	0,0902	-0,0700	0,0140	< 0,001	-0,4636
β_5	-0,0460	0,0130	0,0010	-0,3459	-0,0700	0,0140	< 0,001	-0,4636
β_6	0,1330	0,0140	< 0,001	1,0000	0,1510	0,0140	< 0,001	1,0000
β_7	-0,0680	0,0130	< 0,001	-0,5113	0,0060	0,0140	0,6350	0,0397
β_8	-0,0180	0,0130	0,1690	-0,1353	-0,0120	0,0140	0,4030	-0,0795
β_9	-0,0070	0,0130	0,5880	-0,0526	0,0180	0,0140	0,1950	0,1192
β_{10}	0,0340	0,0130	0,0090	0,2556	0,0360	0,0140	0,0090	0,2384
β_L	0,0040	0,0040	0,3880	0,0301	-0,0140	0,0040	0,0010	-0,0927
β_0	-0,0130	0,0630	0,8360		0,1270	0,0640	0,0480	

Vp MA	“Kurze“ Reize (Segmentdauer 20 ms)				“Lange“ Reize (Segmentdauer 100 ms)			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,0200	0,0140	0,1570	0,1274	0,0020	0,0140	0,9030	0,0102
β_2	0,0000	0,0140	0,9960	0,0000	-0,0200	0,0140	0,1630	-0,1020
β_3	-0,0130	0,0140	0,3380	-0,0828	-0,0280	0,0140	0,0490	-0,1429
β_4	-0,0610	0,0140	< 0,001	-0,3885	-0,0270	0,0140	0,0560	-0,1378
β_5	-0,1110	0,0140	< 0,001	-0,7070	-0,0440	0,0140	0,0020	-0,2245
β_6	0,1570	0,0140	< 0,001	1,0000	0,1960	0,0150	< 0,001	1,0000
β_7	-0,1230	0,0150	< 0,001	-0,7834	-0,0670	0,0140	< 0,001	-0,3418
β_8	-0,0450	0,0140	0,0010	-0,2866	-0,0010	0,0140	0,9550	-0,0051
β_9	-0,0190	0,0140	0,1780	-0,1210	0,0020	0,0140	0,8850	0,0102
β_{10}	0,0370	0,0140	0,0090	0,2357	0,0250	0,0140	0,0800	0,1276
β_L	0,0020	0,0050	0,6610	0,0127	0,0040	0,0050	0,4350	0,0204
β_0	0,2170	0,0660	0,0010		0,1120	0,0660	0,0900	

Vp MI	“Kurze“ Reize (Segmentdauer 20 ms)				“Lange“ Reize (Segmentdauer 100 ms)			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	-0,0100	0,0140	0,4680	-0,0649	-0,0390	0,0160	0,0160	-0,1080
β_2	-0,0120	0,0140	0,3840	-0,0779	0,0010	0,0160	0,9470	0,0028
β_3	-0,0430	0,0140	0,0020	-0,2792	-0,0400	0,0160	0,0150	-0,1108
β_4	-0,0370	0,0140	0,0070	-0,2403	-0,1580	0,0170	< 0,001	-0,4377
β_5	-0,0930	0,0140	< 0,001	-0,6039	-0,1650	0,0170	< 0,001	-0,4571
β_6	0,1540	0,0140	< 0,001	1,0000	0,3610	0,0190	< 0,001	1,0000
β_7	-0,0510	0,0140	< 0,001	-0,3312	0,0150	0,0160	0,3550	0,0416
β_8	0,0270	0,0140	0,0530	0,1753	-0,0060	0,0160	0,7060	-0,0166
β_9	0,0080	0,0140	0,5840	0,0519	0,0040	0,0160	0,8000	0,0111
β_{10}	0,0460	0,0140	0,0010	0,2987	0,0220	0,0160	0,1850	0,0609
β_L	0,0080	0,0050	0,0890	0,0519	-0,0020	0,0050	0,7410	-0,0055
β_0	0,1630	0,0660	0,0140		0,0490	0,0720	0,4970	

Vp ST	“Kurze“ Reize (Segmentdauer 20 ms)				“Lange“ Reize (Segmentdauer 100 ms)			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,0250	0,0140	0,0780	0,1592	0,0080	0,0140	0,5570	0,0473
β_2	-0,0110	0,0140	0,4080	-0,0701	-0,0130	0,0140	0,3470	-0,0769
β_3	-0,0360	0,0140	0,0090	-0,2293	-0,0210	0,0140	0,1180	-0,1243
β_4	0,0040	0,0140	0,7760	0,0255	-0,0300	0,0140	0,0290	-0,1775
β_5	-0,0740	0,0140	< 0,001	-0,4713	-0,0820	0,0140	< 0,001	-0,4852
β_6	0,1570	0,0150	< 0,001	1,0000	0,1690	0,0140	< 0,001	1,0000
β_7	-0,0990	0,0140	< 0,001	-0,6306	-0,0590	0,0140	< 0,001	-0,3491
β_8	0,0050	0,0140	0,7210	0,0318	-0,0010	0,0130	0,9620	-0,0059
β_9	-0,0200	0,0140	0,1410	-0,1274	0,0020	0,0140	0,8790	0,0118
β_{10}	0,0010	0,0130	0,9630	0,0064	0,0140	0,0130	0,3000	0,0828
β_L	0,0020	0,0040	0,6770	0,0127	-0,0010	0,0050	0,7760	-0,0059
β_0	0,0960	0,0660	0,1420		0,0670	0,0640	0,3000	

Vp TP	“Kurze“ Reize (Segmentdauer 20 ms)				“Lange“ Reize (Segmentdauer 100 ms)			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,0400	0,0140	0,0040	0,2797	0,0220	0,0140	0,1150	0,1058
β_2	0,0110	0,0140	0,4090	0,0769	0,0080	0,0140	0,5590	0,0385
β_3	-0,0220	0,0140	0,1130	-0,1538	-0,0470	0,0140	0,0010	-0,2260
β_4	-0,0170	0,0140	0,2050	-0,1189	-0,0480	0,0150	0,0010	-0,2308
β_5	-0,1070	0,0140	< 0,001	-0,7483	-0,0920	0,0150	< 0,001	-0,4423
β_6	0,1430	0,0140	< 0,001	1,0000	0,2080	0,0150	< 0,001	1,0000
β_7	-0,0720	0,0140	< 0,001	-0,5035	-0,0290	0,0150	0,0490	-0,1394
β_8	0,0360	0,0140	0,0080	0,2517	-0,0130	0,0140	0,3610	-0,0625
β_9	-0,0180	0,0140	0,1950	-0,1259	-0,0080	0,0140	0,5940	-0,0385
β_{10}	0,0590	0,0140	< 0,001	0,4126	0,0080	0,0140	0,5590	0,0385
β_L	-0,0020	0,0040	0,6170	-0,0140	0,0030	0,0050	0,5870	0,0144
β_0	0,1080	0,0650	0,0930		0,1890	0,0660	0,0040	

Anhang C3 - Logistische Regression Experiment 3

Die folgenden Tabellen geben die Ergebnisse der logistischen Regression für Experiment 3 wieder.

Vp BP	“Kurze“ Reize (Segmentdauer 10 ms)							
	Signal				Noise			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,1504	0,0474	0,0015	-1,0278	-0,2176	0,0618	0,0004	-0,5346
β_2	0,5035	0,0520	< 0,001	-3,4400	-0,1820	0,0601	0,0025	-0,4472
β_3	0,1474	0,0481	0,0022	-1,0069	-0,1263	0,0612	0,0389	-0,3104
β_4	-0,1280	0,0475	0,0071	0,8743	-0,0994	0,0586	0,0899	-0,2442
β_5	-0,0073	0,0489	0,8812	0,0500	0,0321	0,0606	0,5964	0,0789
β_6	-0,0240	0,0485	0,6206	0,1640	0,1191	0,0584	0,0413	0,2927
β_7	0,0135	0,0502	0,7883	-0,0921	0,0684	0,0621	0,2706	0,1680
β_8	-0,0588	0,0468	0,2091	0,4020	-0,1087	0,0597	0,0687	-0,2671
β_9	-0,1464	0,0483	0,0025	1,0000	0,4070	0,0655	< 0,001	1,0000
β_{10}	-0,2200	0,0487	< 0,001	1,5032	0,0831	0,0583	0,1538	0,2042
β_0	-15,4823	9,6938	0,1102		1,7882	11,5830	0,8773	

Vp BP	“Lange“ Reize (Segmentdauer 20 ms)							
	Signal				Noise			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,1774	0,0398	< 0,001	-0,6522	-0,3519	0,0427	< 0,001	-0,4517
β_2	0,4535	0,0424	< 0,001	-1,6677	-0,2795	0,0414	< 0,001	-0,3588
β_3	0,0103	0,0385	0,7900	-0,0377	-0,1082	0,0386	0,0050	-0,1389
β_4	0,0005	0,0392	0,9890	-0,0020	-0,0372	0,0392	0,3417	-0,0478
β_5	0,0011	0,0407	0,9780	-0,0042	-0,0484	0,0392	0,2170	-0,0621
β_6	0,0086	0,0403	0,8300	-0,0318	-0,1014	0,0395	0,0102	-0,1302
β_7	-0,0176	0,0392	0,6520	0,0649	0,0037	0,0393	0,9254	0,0047
β_8	-0,0048	0,0394	0,9030	0,0177	-0,0203	0,0383	0,5951	-0,0261
β_9	-0,2720	0,0413	< 0,001	1,0000	0,7790	0,0526	< 0,001	1,0000
β_{10}	-0,3609	0,0437	< 0,001	1,3269	0,2152	0,0400	< 0,001	0,2762
β_0	0,3067	8,0016	0,9690		-4,7075	7,5185	0,5312	

Vp TP	“Kurze“ Reize (Segmentdauer 10 ms)							
	Signal				Noise			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,1518	0,0364	< 0,001	-2,3508	-0,0913	0,0362	< 0,001	-0,5640
β_2	0,5662	0,0421	< 0,001	-8,7659	-0,0688	0,0364	< 0,001	-0,4246
β_3	-0,1001	0,0354	0,0047	1,5501	-0,0276	0,0356	0,4383	-0,1703
β_4	-0,0538	0,0369	0,1449	0,8322	-0,0760	0,0352	0,0308	-0,4692
β_5	-0,0288	0,0356	0,4189	0,4451	0,0103	0,0358	0,7743	0,0634
β_6	-0,0102	0,0367	0,7820	0,1573	-0,0175	0,0358	0,6246	-0,1083
β_7	-0,0978	0,0362	0,0069	1,5148	-0,0347	0,0368	0,3448	-0,2146
β_8	-0,0167	0,0364	0,6464	0,2586	0,0168	0,0351	0,6331	0,1035
β_9	-0,0646	0,0357	< 0,001	1,0000	0,1619	0,0367	< 0,001	1,0000
β_{10}	-0,1604	0,0363	< 0,001	2,4830	-0,0305	0,0356	< 0,001	-0,1886
β_0	-14,1483	7,0796	0,0457		10,3135	7,0207	0,1418	
Vp TP	“Lange“ Reize (Segmentdauer 20 ms)							
	Signal				Noise			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,1083	0,0325	< 0,001	-3,2739	-0,3046	0,0361	< 0,001	-1,4870
β_2	0,6703	0,0421	< 0,001	-20,2609	-0,0720	0,0342	< 0,001	-0,3513
β_3	-0,1539	0,0343	< 0,001	4,6516	-0,0220	0,0348	0,5278	-0,1072
β_4	-0,0473	0,0336	0,1583	1,4311	0,0017	0,0347	0,9607	0,0083
β_5	0,0190	0,0333	0,5672	-0,5752	-0,0639	0,0349	0,0667	-0,3120
β_6	-0,0109	0,0335	0,7447	0,3300	0,0263	0,0357	0,4600	0,1286
β_7	0,0011	0,0327	0,9736	-0,0327	-0,0676	0,0346	0,0506	-0,3301
β_8	-0,0275	0,0335	0,4113	0,8315	-0,1035	0,0356	0,0037	-0,5051
β_9	-0,0331	0,0335	< 0,001	1,0000	0,2048	0,0354	< 0,001	1,0000
β_{10}	-0,1437	0,0337	< 0,001	4,3438	0,0883	0,0360	< 0,001	0,4313
β_0	-25,6177	6,6834	0,0001		20,0463	7,1034	0,0048	
Vp WE	“Kurze“ Reize (Segmentdauer 10 ms)							
	Signal				Noise			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	-0,0114	0,0260	< 0,001	0,3282	0,0252	0,0257	< 0,001	0,2356
β_2	-0,0863	0,0260	< 0,001	2,4926	0,0057	0,0247	< 0,001	0,0536
β_3	0,0608	0,0261	0,0199	-1,7572	0,0394	0,0259	0,1280	0,3678
β_4	-0,0394	0,0256	0,1235	1,1376	-0,0187	0,0257	0,4687	-0,1741
β_5	-0,0624	0,0257	0,0151	1,8018	0,0243	0,0255	0,3397	0,2270
β_6	-0,0828	0,0271	0,0022	2,3920	0,0001	0,0255	0,9957	0,0013
β_7	-0,0517	0,0257	0,0440	1,4930	0,0418	0,0258	0,1049	0,3906
β_8	0,0089	0,0264	0,7356	-0,2575	-0,0129	0,0256	0,6135	-0,1207
β_9	-0,0346	0,0269	< 0,001	1,0000	0,1071	0,0263	< 0,001	1,0000
β_{10}	-0,0196	0,0266	< 0,001	0,5667	0,0563	0,0253	< 0,001	0,5258
β_0	20,7037	5,3408	0,0001		-17,0600	5,2580	0,0012	
Vp WE	“Lange“ Reize (Segmentdauer 20 ms)							
	Signal				Noise			
	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β	β -Koeffizient	Std.fehler	p-value	normiertes β
β_1	0,0827	0,0260	< 0,001	-0,7059	-0,0683	0,0276	< 0,001	-0,3090
β_2	0,0852	0,0261	< 0,001	-0,7276	-0,0801	0,0279	< 0,001	-0,3622
β_3	0,0713	0,0266	0,0072	-0,6088	-0,0536	0,0281	0,0568	-0,2423
β_4	-0,0067	0,0261	0,7979	0,0571	-0,0425	0,0276	0,1231	-0,1923
β_5	-0,0259	0,0263	0,3247	0,2208	-0,0430	0,0282	0,1273	-0,1944
β_6	0,0441	0,0261	0,0910	-0,3768	-0,0074	0,0269	0,7830	-0,0335
β_7	-0,0033	0,0260	0,8978	0,0285	0,0218	0,0278	0,4326	0,0986
β_8	-0,0409	0,0258	0,1128	0,3490	-0,0479	0,0280	0,0868	-0,2166
β_9	-0,1172	0,0268	< 0,001	1,0000	0,2211	0,0297	< 0,001	1,0000
β_{10}	-0,1103	0,0263	< 0,001	0,9418	0,0753	0,0272	< 0,001	0,3405
β_0	1,2600	5,0791	0,8041		1,2595	5,4363	0,8168	

Anhang D - Antwortgüte Experiment 4

Die folgenden Abbildungen 7.6 und 7.7 zeigen die Entwicklung der Prozent-korrekt-Werte über die Zeit für Experiment 4 für alle sechs Versuchspersonen in den Bedingungen "Inkrement auf Segment 1 bis 10", für die "langen Reize" (Segmentdauer 100 ms) und die "kurzen Reize" (Segmentdauer 20 ms). Die durchgezogene Linie ist der jeweilige Durchschnittswert über alle sechs Versuchspersonen und alle Blöcke in dieser Inkrementposition.

Die Abbildungen 7.8 zeigen die Entwicklung der durchschnittlichen Prozent-korrekt-Werte für alle Versuchspersonen über die 6 Blöcke und damit über die Zeit in jeder Inkrementposition. Die Abbildungen zeigen, dass keine systematischen Übungseffekte über den Untersuchungszeitraum hinweg zu beobachten sind.

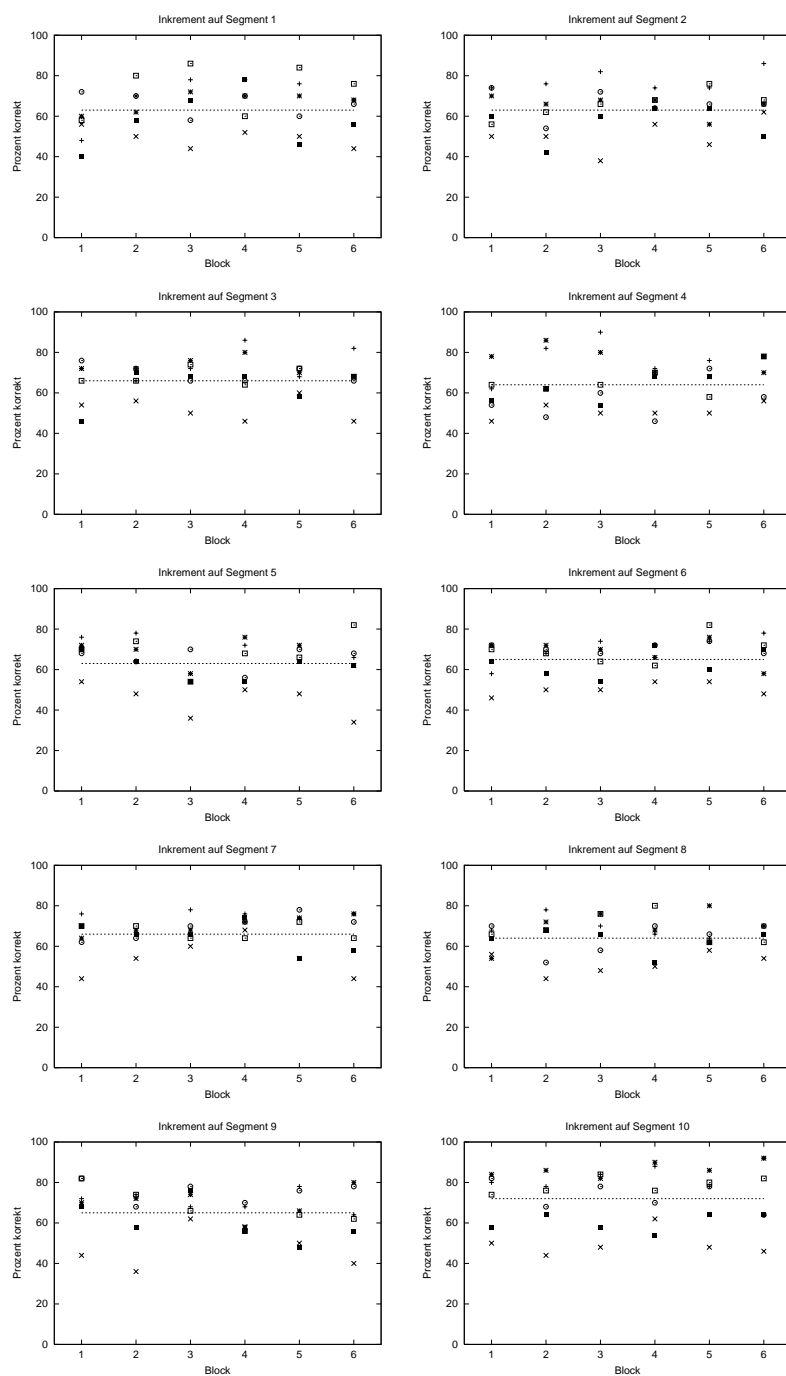


Abbildung 7.6: Prozent-korrekt-Werte über die Zeit für alle sechs Versuchspersonen für die “langen” Reize in den Bedingungen “Inkrement auf Segment 1 bis 10”. Jedes Symbol steht für eine Versuchsperson. Die durchgezogene Linie zeigt den jeweiligen Durchschnittswert über alle sechs Versuchspersonen und alle Blöcke in der jeweiligen Bedingung.

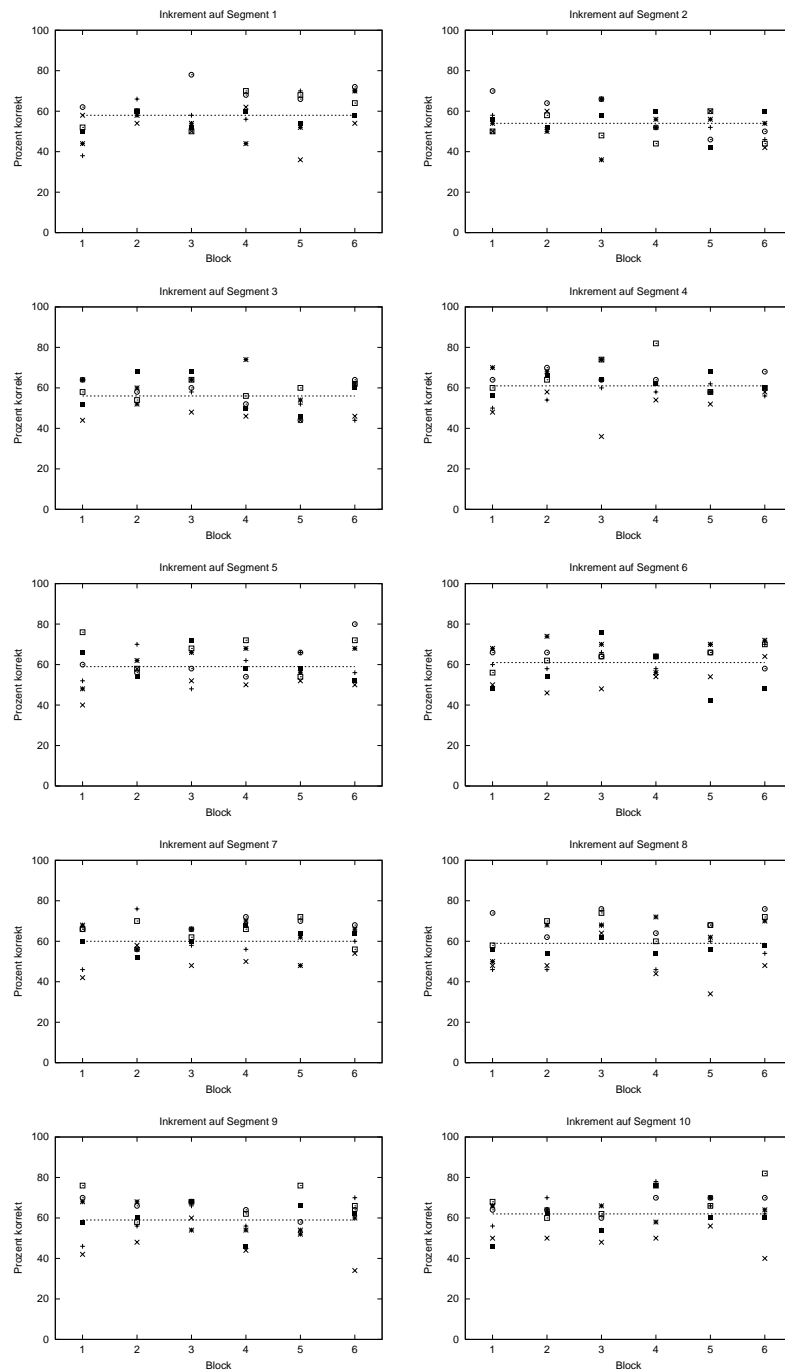


Abbildung 7.7: Prozent-korrekt-Werte über die Zeit für alle sechs Versuchspersonen für die “kurzen” Reize in den Bedingungen “Inkrement auf Segment 1 bis 10”. Jedes Symbol steht für eine Versuchsperson. Die durchgezogene Linie zeigt den jeweiligen Durchschnittswert über alle sechs Versuchspersonen und alle Blöcke in der jeweiligen Bedingung.

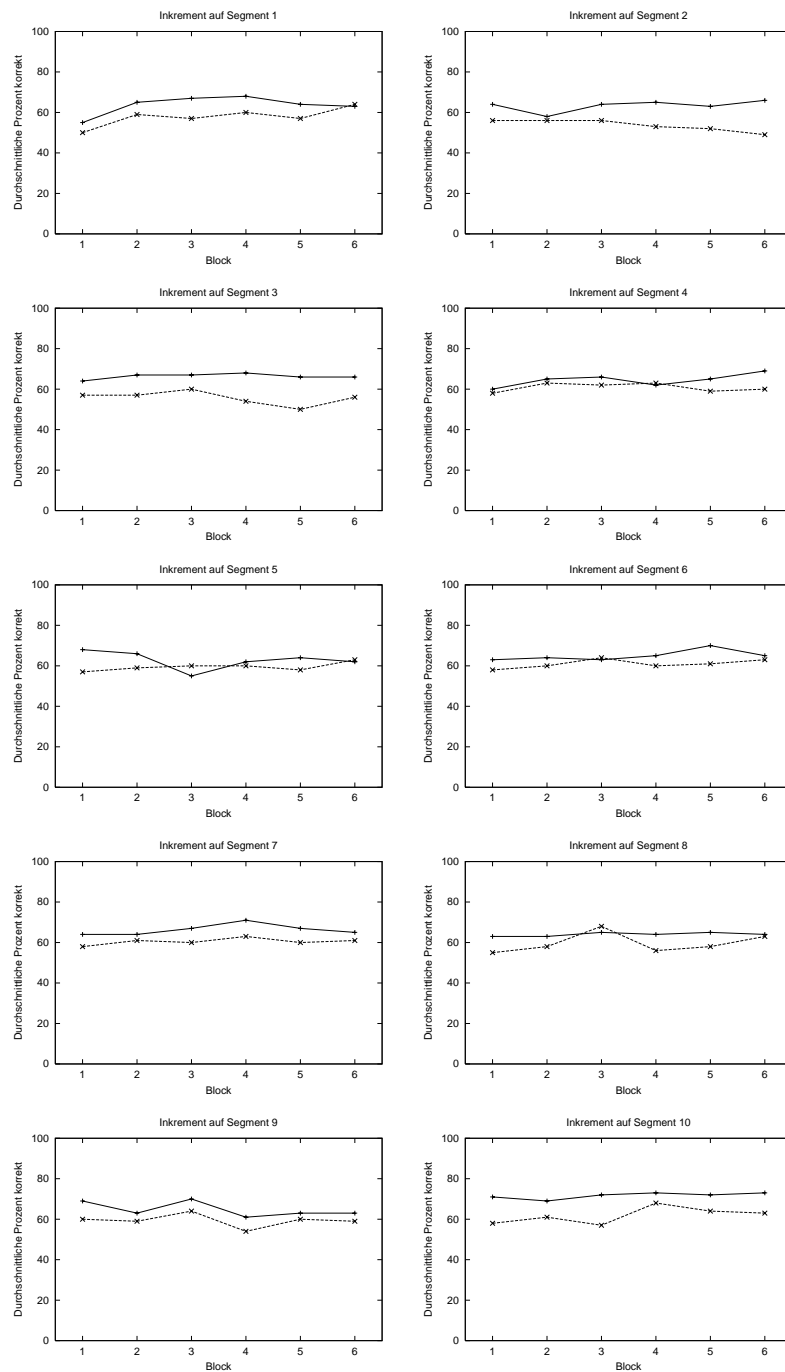


Abbildung 7.8: Entwicklung der über alle Versuchspersonen gemittelten Prozent-korrekt-Werte über die erhobenen Blöcke und damit über die Zeit. Die durchgezogene Linie steht jeweils für Bedingung 1, "lange" Reize, die gestrichelte Linie für Bedingung 2, "kurze" Reize.